

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS

**“EVALUACIÓN DE LÁMINAS DE RIEGO Y EFICIENCIA EN
LOS SISTEMAS, UTILIZANDO SENSORES DE HUMEDAD Y
MODELO PENMAN-MONTEITH PARA CULTIVOS DE BANANO
Y MAÍZ EN LA LOCALIDAD DE MALLARES, SULLANA, PIURA”**

Presentada por:

Br. EDSON JOSÉ BANCAYÁN ZEGARRA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

**Línea de investigación: Aprovechamiento y conservación de los
recursos naturales.**

**Piura, Perú
2019**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS

“EVALUACIÓN DE LÁMINAS DE RIEGO Y EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS, UTILIZANDO SENSORES DE HUMEDAD Y MODELO PENMAN-MONTEITH PARA CULTIVOS DE BANANO Y MAÍZ EN LA LOCALIDAD DE MALLARES, SULLANA, PIURA”

**PRESENTADA A LA FACULTAD DE AGRONOMÍA PARA OPTAR EL
TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA**

Br. EDSON JOSÉ BANCAYÁN ZEGARRA
TESISTA

ING. CARLOS MIGUEL CABREJOS VÁSQUEZ
ASESOR

ING. WALTER MARIO RAMÍREZ CHACÓN
CO-ASESOR

Piura – Perú
2019

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE LA TESIS


Yo, **EDSON JOSÉ BANCAYÁN ZEGARRA**, identificado con DNI N° 70858304, Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, de la Facultad de Agronomía y domiciliado en Urbanización Ignacio Merino primera etapa, Mz. N lote 14; del Distrito de Piura, Provincia de Piura, Departamento de Piura.

Email: edson.jbz@gmail.com

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es auténtica e inédita, no siendo copia total ni parcial de una tesis desarrollado y/o realizada en el Perú o en el extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código penal concordante con el Art. 32° de la ley N° 27444, y la ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección de los Derechos de Autor.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Piura, setiembre del 2019


DNI N° 70858304



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS

“EVALUACIÓN DE LÁMINAS DE RIEGO Y EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS, UTILIZANDO SENSORES DE HUMEDAD Y MODELO PENMAN-MONTEITH PARA CULTIVOS DE BANANO Y MAÍZ EN LA LOCALIDAD DE MALLARES, SULLANA, PIURA”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÍCOLA

Br. EDSON JOSÉ BANCAYÁN ZEGARRA

APROBADO POR:

ING. GILMER CAMACHO LÁZARO MSc.
PRESIDENTE

ING. SANTIAGO SALAS CUADROS
VOCAL

DR. HEBER A. ALCOSER CALLE
SECRETARIO

Piura – Perú
2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE AGRONOMÍA

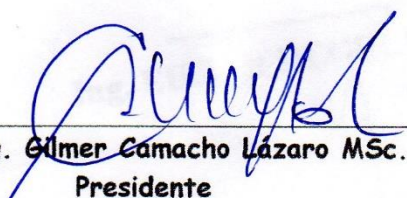


ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS 015 - 2019-UIFA-UNP

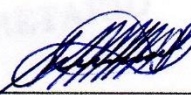
Los miembros del jurado calificador que suscriben, congregados para estudiar el Trabajo de Tesis denominado "EVALUACIÓN DE LÁMINAS DE RIEGO Y LA EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS, UTILIZANDO SENSORES DE HUMEDAD Y MODELO PENMAN - MONTEITH PARA CULTIVOS DE BANANO Y MAÍZ EN LA LOCALIDAD DE MALLARES, SULLANA, PIURA", conducido por el BR. EDSON JOSÉ BANCAYÁN ZEGARRA asesorado por el Ing. Carlos M. Cabrejos Vásquez y Co - asesorada por el Ing. Walter M. Ramírez Chacón.

Luego de oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran APPROBADO, en consecuencia queda en condiciones de ser calificado APTO para gestionar ante el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, el Título Profesional de Ingeniero Agrícola de conformidad con lo estipulado en el artículo N° 171, inciso 2° del Estatuto General de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 19 de Marzo del 2019.


Ing. Elmer Camacho Lázaro MSc.
Presidente


Ing. Santiago Salas Cuadros
Vocal


Dr. Heber A. Alcoser Calle
Secretario

DEDICATORIA

A mis padres, José y Deyssi; y mi hermano Paul, por apoyarme incondicionalmente durante toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida.

A todas las personas que me acompañaron en mi etapa universitaria, aportando tanto a mi formación profesional y como ser humano.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi familia, mis padres y hermano, por el amor brindado en el día a día de mi etapa universitaria y ser los principales promotores de esta meta lograda.

Al programa INNÓVATE Perú, por el financiamiento de la investigación a través del proyecto “DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RIEGO DE ALTA PRECISIÓN BASADO EN CONTROLADOR DE BALANCE HÍDRICO Y MODELO PENMAN-MONTEITH”; y al Centro de Formación Profesional Binacional y Asociación Chira, por la confianza depositada en mi persona y brindarme facilidades durante el proceso de la investigación.

A la Universidad Nacional de Piura, de manera puntual a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, que me abrió sus puertas y me brindó las herramientas necesarias durante mi formación.

A mis asesores, el Ing. Carlos Cabrejos y el Ing. Walter Ramírez, por su apoyo y dedicación en la realización de la investigación.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación realizado en las áreas experimentales del Centro de Formación Profesional Binacional (Mallares-Sullana), forma parte del Proyecto “Desarrollo de un sistema de riego de alta precisión basado en controlador de balance hídrico y Modelo Penman Monteith”, financiado por el Programa Innóvate Perú, busca evaluar las láminas de riego y la eficiencia de aplicación en los sistemas de riego presurizado (microaspersión y goteo), utilizando sensores de humedad del suelo y el Modelo Penman-Monteith para cultivos de banano y maíz; enfocándose en los cálculos de las láminas de riego para cada tratamiento, con la finalidad de comparar los volúmenes aplicados y los rendimientos obtenidos durante el estudio.

Para el desarrollo de la investigación en los cultivos de banano y maíz, se definieron experimentos bifactoriales, cuyos factores fueron: Sistemas de Riego y Método para calcular la lámina de riego; ambos con 2 niveles comparativos, que fueron evaluados de forma independiente, 4 tratamientos por cultivo.

Las evaluaciones se realizaron a partir del cálculo de la lámina de riego, con 2 métodos establecidos, Penman Monteith para el cálculo de la Eto, y el uso de sensores de humedad del suelo; y la posterior aplicación de la lámina de riego, teniendo en cuenta la frecuencia y eficiencia calculada para los sistemas presurizados, instalados en las áreas experimentales, de 972 m² para cultivo de banano y 875 m² para el maíz.

De los resultados obtenidos para el consumo de agua por microaspersión en el banano, representa 11.9% por debajo del riego por gravedad. El tratamiento Gravedad-Penman (S1M1) exigió una demanda por campaña de **21 960 m³/ha** (con un rendimiento de 41.14 Tn/ha), y el tratamiento Gravedad-Sensor (S1M2), demandó

18 700 m³/ha (con un rendimiento de 42.14 Tn/ha), encontrando un déficit hídrico de **14.8%**. Mientras que en el tratamiento Microaspersión-Penman (S2M1), exigió una demanda por campaña de **18 860 m³/ha** (con un rendimiento de 46.56 Tn/ha), y el tratamiento Microaspersión-Sensor (S2M2), una demanda de **16 965 m³/ha** (con un rendimiento de 50.39 Tn/ha), suponiendo un déficit del cálculo teórico de **10%**.

Para el cultivo de maíz, el consumo de agua en un sistema de riego presurizado por goteo, representó el **21.8%** por debajo del riego por gravedad. Donde el tratamiento Gravedad-Penman (S1M1) exigió una demanda por campaña de **6 526.5 m³/ha** (con un rendimiento de 5 941 Kg/ha), y el tratamiento Gravedad-Sensor (S1M2), demandó **4 600 m³/ha** (con un rendimiento de 5 909 Kg/ha), suponiendo un déficit del cálculo teórico de **29.2%**. Mientras que en el tratamiento Goteo-Penman (S3M1), exigió una demanda por campaña de **4 580 m³/ha** (con un rendimiento de 6 921 Kg/ha), y el tratamiento Goteo-Sensor (S3M2), una demanda de **4 100 m³/ha** (con un rendimiento de 7 188 Kg/ha), suponiendo un déficit del cálculo teórico de **10.5%**.

Se concluye que la influencia del uso de tecnologías para el cálculo y aplicación de la lámina de riego se ve evidenciada en la producción final de ambos cultivos, dónde se logró un incremento de 22.5 % y 21% al combinar tecnologías de riego presurizado y sensor de humedad del suelo en banano y maíz respectivamente. Por lo que se hace necesario enfocarse directamente en la dosis y frecuencia de aplicación para lograr una mejor eficiencia de riego y una mejora en la producción final.

Palabras Clave: Sensor de Humedad del suelo, Modelo Penman-Monteith, lámina de riego, riego presurizado.

ABSTRACT

The present research work carried out in the experimental areas of the Binational Vocational Training Center (Mallares-Sullana), is part of the Project "Development of a high precision irrigation system based on water balance controller and Penamn Monteith Model", financed by the Innóvate Peru Program, seeks to evaluate irrigation sheets and application efficiency in pressurized irrigation systems (microdispersion for banana and drip for corn), using soil moisture sensors and the Penman-Monteith Model for banana and corn crops; focusing on the calculations of the irrigation sheets for each treatment, in order to compare the volumes applied during the study.

For the development of the investigation in banana and corn crops, bifactorial experiments were defined, whose factors were: Irrigation Systems and Method to calculate the irrigation sheet; both with 2 comparative levels, therefore, 4 treatments per crop were evaluated independently.

The evaluations were carried out from the calculation of the irrigation sheet, with 2 established methods, the Penman Monteith model for the calculation of the Eto, and the use of soil moisture sensors; and the subsequent application, taking into account the frequency of irrigation and the efficiency calculated in the pressurized systems installed in the experimental areas of 972 m² in banana cultivation and 875 m² in corn.

Of the results obtained for banana cultivation, the consumption of irrigation water by microdispersion represents **11.9%** below gravity irrigation. The Gravity-Penman treatment (S1M1) required a demand per campaign of **21,960 m³/ha** (yield: 41.14

Tn/ha), and the Gravity-Sensor treatment (S1M2) demanded **18,700 m³/ha** (yield: 42.14 Tn/ha), assuming a water deficit of **14.8%**. Whereas in the MicroaspersionPenman treatment (S2M1), demand per campaign demanded **18 860 m³/ha** (yield: 46.56 Tn/ha), and the Microaspersion-Sensor treatment (S2M2) demanded **16 965 m³/ha** (yield: 50.39 Tn/ha), assuming a deficit in the theoretical calculation of **10%**.

For corn cultivation, water consumption in pressurized drip irrigation system represents **21.8%** below gravity irrigation. Where the Gravity-Penman treatment (S1M1) required a demand per campaign of **6 526.5 m³/ha** (yield: 5 941.5 Kg/ha, and the Gravity-Sensor treatment (S1M2), demanded **4 600 m³/ha** (yield: 5 909.25 Kg/ha), assuming a deficit in the theoretical calculation of **29.2%**. Whereas in the Goteo-Penman treatment (S3M1), demand per campaign demanded **4 580 m³/ha** (yield: 6 921.36 Kg/ha), and the Goteo-Sensor treatment (S3M2) demanded **4 100 m³/ha** (yield: 7 188.36 Kg/ha), assuming a deficit in the theoretical calculation of **10.5%**.

It is concluded, the influence of the use of technologies for the calculation and application of the irrigation sheet is evidenced in the final production of both crops, where an increase of **22.5%** and **21%** was achieved by combining pressurized irrigation technologies and soil moisture sensor in banana and corn respectively. It is, therefore, necessary to focus directly on the dose and frequency of application to achieve better irrigation efficiency and an improvement in the final production.

Keywords: Soil moisture sensor, Penman-Monteith model, irrigation sheet, pressurized irrigation.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA.....	4
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	4
1.2. JUSTIFICACIÓN	5
1.3. OBJETIVOS	6
1.3.1. Objetivo General.....	6
1.3.2. Objetivos Específicos	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. ANTECEDENTES	7
2.2. BASES TEÓRICAS	10
2.2.1. Banano	10
2.2.2. Maíz	12
2.2.3. El Riego	14
2.2.4. Coeficiente de Uniformidad	14
2.2.5. Eficiencia de Aplicación.....	15
2.2.6. Determinación de los Índices Técnicos	16
2.2.7. Humedad Disponible	22
2.2.8. Tipos de Riego.....	24
2.2.9. Modelo Penman-Monteith	28
2.2.10. Sensores Watermark	29
2.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	30

2.4. MARCO REFERENCIAL.....	32
2.4.1. Ubicación del proyecto	32
2.5. HIPÓTESIS	33
2.5.1. Hipótesis General	33
2.5.2. Hipótesis Específicas	33
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	34
3.1. ENFOQUE.....	34
3.2. SUJETOS DE LA INVESTIGACIÓN	34
3.3. CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL	36
3.4. OBSERVACIONES AGRONÓMICAS.....	37
3.5. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	38
3.5.1. Trabajo de Campo	38
3.5.2. Trabajo de Gabinete.....	50
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	56
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
4.1. RESULTADOS	57
4.1.1. Caracterización de suelo y calidad de agua	57
4.1.2. Prueba de Infiltración del suelo	58
4.1.3. Ensayo de humedad del suelo.....	64
4.1.4. Coeficiente de uniformidad para sistema de riego presurizado.....	65
4.1.5. Evapotranspiración de referencia (Eto)	69
4.1.6. Lámina y volumen de riego para cultivo de banano.....	70

4.1.7.	Rendimiento en cultivo de banano	74
4.1.8.	Lámina y volumen de riego para cultivo de maíz	75
4.1.9.	Rendimiento en cultivo de maíz	79
4.1.10.	Análisis estadístico t de Student	82
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		88
5.1.	CONCLUSIONES	88
5.2.	RECOMENDACIONES.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		91
ANEXOS.....		94

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Factor, nivel, tratamientos y clave para cultivo de banano</i>	34
Tabla 2. <i>Factor, nivel, tratamientos y clave para cultivo de maíz</i>	35
Tabla 3. <i>Tratamientos para el cultivo de banano</i>	35
Tabla 4. <i>Tratamientos para cultivo de maíz</i>	35
Tabla 5. <i>Tratamientos comparados en cultivo de banano</i>	36
Tabla 6. <i>Tratamientos comparados en cultivo de maíz</i>	36
Tabla 7. <i>Dimensiones de áreas experimentales</i>	36
Tabla 8. <i>Parámetros agronómicos de evaluación</i>	37
Tabla 9. <i>Lecturas de ensayo de infiltración para suelo cultivado</i>	43
Tabla 10. <i>Lecturas de ensayo de infiltración para suelo sin cultivar</i>	44
Tabla 11. <i>Datos de ensayo de humedad del suelo</i>	45
Tabla 12. <i>Valores medio de parámetros meteorológicos Estación Mollares</i>	48
Tabla 13: <i>Resultados de Análisis de suelo</i>	57
Tabla 14: <i>Resultados de Análisis de agua</i>	57
Tabla 15. <i>Infiltración acumulada en suelo cultivado</i>	58
Tabla 16. <i>Velocidad de infiltración para suelo cultivado</i>	59
Tabla 17. <i>Infiltración acumulada para suelo desnudo</i>	61
Tabla 18. <i>Velocidad de infiltración para suelo desnudo</i>	62
Tabla 19. <i>Coeficiente de Uniformidad para sistema por microaspersión, 1° ensayo</i> ..	65
Tabla 20. <i>Coeficiente de Uniformidad para sistema por microaspersión, 2° ensayo</i> ..	65
Tabla 21. <i>Coeficiente de Uniformidad para sistema por microaspersión, 3° ensayo</i> ..	66
Tabla 22. <i>Uniformidad de distribución para sistema de riego por microaspersión</i>	66
Tabla 23. <i>Coeficiente de Uniformidad para sistema por goteo, fase inicial</i>	67
Tabla 24. <i>Coeficiente de Uniformidad para sistema por goteo, fase media</i>	67
Tabla 25. <i>Coeficiente de Uniformidad para sistema por goteo, fase final</i>	68
Tabla 26. <i>Uniformidad de distribución para sistema de riego por goteo</i>	68
Tabla 27. <i>Evapotranspiración de referencia Eto mensual</i>	69
Tabla 28. <i>Lámina de riego mensual para banano en tratamiento S1M1</i>	70
Tabla 29. <i>Lámina de riego mensual para banano en tratamiento S1M2</i>	71
Tabla 30. <i>Lámina de riego mensual para banano en tratamiento S2M1</i>	72
Tabla 31. <i>Lámina de riego mensual para banano en tratamiento S2M2</i>	73

Tabla 32. <i>Rendimiento en cultivo de banano por tratamientos.</i>	74
Tabla 33. <i>Lámina de riego mensual para maíz en tratamiento S1M1</i>	75
Tabla 34. <i>Lámina de riego mensual para maíz en tratamiento S1M2</i>	76
Tabla 35. <i>Lámina de riego mensual para maíz en tratamiento S3M1</i>	77
Tabla 36. <i>Lámina de riego mensual para maíz en tratamiento S3M2</i>	78
Tabla 37. <i>Rendimiento en maíz, tratamiento S1M1</i>	79
Tabla 38. <i>Rendimiento en maíz, tratamiento S1M2</i>	80
Tabla 39. <i>Rendimiento en maíz, tratamiento S3M1</i>	80
Tabla 40. <i>Rendimiento de maíz, tratamiento S3M2</i>	81
Tabla 41. <i>Muestras de tratamientos S1M1 y S1M2 en banano</i>	82
Tabla 42. <i>Muestras de tratamientos S2M1 y S2M2 en banano</i>	83
Tabla 43. <i>Muestras de tratamientos S1 y S2 en banano</i>	84
Tabla 44. <i>Muestras de tratamientos S1M1 y S1M2 en maíz</i>	85
Tabla 45. <i>Muestras de tratamientos S3M1 y S3M2 en maíz</i>	86
Tabla 46. <i>Muestras de tratamientos S1 y S3 en maíz</i>	87

Índice de Gráficos

Gráfico 1. kc para cultivo de banano 1° año de desarrollo	11
Gráfico 2. kc para cultivo de maíz	13
Gráfico 3. Contenido de humedad del suelo in situ	45
Gráfico 4. Infiltración acumulada para suelo cultivado.....	59
Gráfico 5. Velocidad de infiltración para suelo cultivado	60
Gráfico 6. Infiltración acumulada para suelo desnudo	62
Gráfico 7. Velocidad de infiltración para suelo desnudo.....	63
Gráfico 8. Curva y ecuación de humedad del suelo	64
Gráfico 9. Evapotranspiración de referencia mensual	69
Gráfico 10. Consumo mensual para banano en tratamiento S1M1	70
Gráfico 11. Consumo mensual para banano en tratamiento S2M2	71
Gráfico 12. Consumo mensual para banano en tratamiento S2M1	72
Gráfico 13. Consumo mensual para banano en tratamiento S2M2	73
Gráfico 14. Consumo mensual para maíz en tratamiento S1M1	75
Gráfico 15. Consumo mensual para maíz en tratamiento S1M2	76
Gráfico 16. Consumo mensual para maíz en tratamiento S3M1	77
Gráfico 17. Consumo mensual para maíz en tratamiento S3M2	78

Índice de Figuras

Figura 1: Curva de retención de tres suelos característicos (Vásquez A.).....	24
Figura 2: Ecuación Penman-Monteith (FAO)	28
Figura 3: Ubicación de campo experimental Centro de Formación Profesional Binacional	32
Figura 4. Delimitación de áreas experimentales	38
Figura 5. Instalación y calibración de bomba de riego	39
Figura 6. Estación meteorológica portátil en CFPB Mollares	40
Figura 7. Sensores de humedad del suelo, a diferentes profundidades.....	41
Figura 8. Datos registrados en estación meteorológica Vantage Pro 2	49
Figura 9. Monitor Watermark.....	49
Figura 10. Software Cropwat para cálculo de Eto con datos históricos	50

Índice de Anexos

Anexo 1. Análisis de Suelo y Agua	94
Anexo 2. Coeficiente de Uniformidad, datos de campo	96
Anexo 3. Ensayo gravimétrico de humedad del suelo	98
Anexo 4. Datos de Estación Meteorológica Portátil.....	99
Anexo 5. Cálculo de láminas de riego por tratamiento.....	104

INTRODUCCIÓN

El sector agrícola es el mayor consumidor de agua, esto se incrementa con el aumento de la superficie irrigada y la baja eficiencia en los sistemas de riego. Por este motivo es de vital importancia lograr un equilibrio hidrológico que asegure el abastecimiento de agua. Actualmente, la problemática del mal manejo del agua en el valle del Chira, se viene agudizando porque la oferta almacenada ya no cubre la demanda hídrica, debido a: la disminución del almacenamiento de agua del Reservorio Poechos, causada por la sedimentación; instalación de extensas áreas de arroz, cultivo de alta demanda de agua, siguen programando 2 campañas; mal manejo del agua de riego debido al bajo valor y cultura del agua por parte de los usuarios, lo que generan eficiencias de riego muy baja. Las limitaciones del recurso hídrico para el riego perjudican directamente a los pequeños productores del valle.

En la actualidad, la implementación de sistemas de riego tecnificado presurizado, se ve priorizada únicamente por la empresa privada, esta tecnología es la impulsora de lo que hoy se denomina riego de precisión; además de los avances en las herramientas de sensado y medición, permiten mejorar la eficiencia de aplicación de agua mediante el uso intensivo de los datos generados. Esta tendencia no solo implica la digitalización y almacenamiento de información, sino también, contar con el criterio técnico necesario para implementar y desarrollar esta tecnología de forma correcta; por lo que es necesario plantear una alternativa accesible para los pequeños y medianos productores del Valle del Chira.

La determinación de las necesidades hídricas de los cultivos utilizan actualmente modelos matemáticos y tecnologías de precisión para la obtención de datos que

permiten calcular la cantidad de agua consumida por el cultivo y que debe reponerse con la finalidad de mantener un balance hídrico; convirtiéndose en un sistema de control en donde la retroalimentación de la información, permite a los productores diseñar tratamientos específicos para incrementar la eficiencia en el uso de los recursos involucrados.

El presente proyecto experimental, financiado por el Programa INNOVATE y ejecutado por el Centro de Formación Profesional Binacional, y la Universidad Nacional de Piura, compara los volúmenes de riego calculados y evalúa la eficiencia de aplicación en 02 sistemas de riego para cultivo de banano (gravedad y microaspersión) y 02 sistemas de riego para cultivo de maíz (gravedad y goteo) en la localidad de Mallares, Provincia de Sullana; y basa su funcionamiento en el estudio previo de distintas variables como son requerimientos hídricos de los cultivos, características del suelo, condiciones meteorológicas, propiedades y limitaciones del sistema de riego; que mediante la captura automática de datos, y su posterior tratamiento y análisis, se pretende comparar y evaluar su eficiencia, enfocándose en las láminas aplicadas durante todo el proceso de riego hasta su producción.

De los resultados obtenidos para el cultivo de banano, el consumo de agua del riego por microaspersión, representa 11.9% por debajo del riego por convencional por gravedad. El tratamiento Gravedad-Penman (S1M1) exigió una demanda por campaña de **21 960 m³/ha**, y el tratamiento Gravedad-Sensor (S1M2), demanda **18 700 m³/ha**, suponiendo un déficit hídrico de **14.8%**. Mientras que en el tratamiento Microaspersión-Penman (S2M1), exigió una demanda por campaña de **18 860 m³/ha**, y el tratamiento Microaspersión-Sensor (S2M2), una demanda de **16 965 m³/ha**, suponiendo un déficit del cálculo teórico de **10%**.

Para el cultivo de maíz, el consumo de agua en sistema de riego presurizado por goteo, representa **21.8%** por debajo del riego por gravedad. Donde el tratamiento Gravedad-Penman (S1M1) exigió una demanda por campaña de **6 526.5 m³/ha**, y el tratamiento Gravedad-Sensor (S1M2), demanda **4 600 m³/ha**, suponiendo un déficit del cálculo teórico de **29.2%**. Mientras que en el tratamiento Goteo-Penman (S3M1), exigió una demanda por campaña de **4 580 m³/ha**, y el tratamiento Goteo-Sensor (S3M2), una demanda de **4 100 m³/ha**, suponiendo un déficit del cálculo teórico de **10.5%**.

CAPÍTULO I

ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La incorrecta aplicación de técnicas de riego, sumado a la carencia de criterio por parte de los usuarios y de sus organizaciones; en muchos casos un desconocimiento de las mismas, conllevan a un deficiente uso y manejo del agua de riego. Considerando que estas tecnologías tienen como finalidad potenciar la productividad agrícola, los efectos principales de las bajas eficiencias de aplicación del agua se ven reflejados en la producción final de los principales cultivos.

Actualmente, existen tecnologías enfocada directamente al campo de la agricultura y riego, pero de igual manera las organizaciones o entidades involucradas en el tema, no están potenciando estas tecnologías o simplemente no forman parte del proceso para mejorar las condiciones de riego con respecto a la aplicación correcta y precisa de la lámina de riego.

Situaciones como estas, son frecuentes en los sistemas de riego, a nivel nacional e incluso a nivel internacional, y asocian factores que perjudican la producción agrícola y la economía de los pequeños productores. Razones que nos obliga a plantear soluciones y desarrollar propuestas para el mejoramiento de los sistemas de riego apoyados en nuevas tecnologías de precisión.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Se puede mejorar la eficiencia de aplicación de agua en el riego en pequeños productores, para cultivos de banano y maíz, trabajando con información edafo-climática y la aplicación correcta de tecnologías en la localidad de Mallares, Sullana, Piura?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Para incrementar la eficiencia en los sistemas de riego es necesario estudiar distintas variables (requerimientos hídricos de los cultivos, características del suelo, condiciones meteorológicas, propiedades y limitaciones del sistema de riego) y como se relacionan para determinar el uso adecuado del recurso.

Añadido a esto, el grado de precisión de los equipos tiene relevante importancia, porque no es lo mismo captar una variable en 2 momentos del día con una lectura análoga, que tener esta misma variable cada cierto tiempo a lo largo de las 24 horas del día de una forma digitalizada. Estas variables son de naturaleza heterogénea y pueden ser capturadas automáticamente mediante el uso de sensores para permitir su posterior tratamiento y análisis para una correcta programación del riego.

Si bien tenemos de conocimiento que los sistemas de riego presurizado son más eficientes que un sistema de riego por gravedad, no sabemos con precisión cuánto más, enfocado directamente a los volúmenes o láminas aplicadas. Por esta razón es necesaria una evaluación comparativa de estas cantidades aplicadas, conociendo que el cálculo previo a la aplicación (determinación de la lámina de riego) se hizo de la forma más exacta posible.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Evaluar las láminas de riego y la eficiencia de aplicación, utilizando equipos de alta precisión, sensores de humedad del suelo y Modelo Penman-Monteith para cultivos de banano y maíz.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Calcular la demanda de agua de riego para cada tratamiento en los cultivos.
- Comparar los volúmenes de riego aplicados en los tratamientos.
- Determinar la eficiencia de los sistemas de riego tecnificado presurizado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Ferrándiz J. (2017), en su investigación titulada “ESTUDIO DEL MANEJO DE AGUA DE RIEGO MEDIANTE SENSORES DE HUMEDAD” (España), concluye que el manejo del régimen hídrico mediante las sondas de humedad FDR (*Frequency Domain Reflectometry*), supone un déficit hídrico respecto a las necesidades que demanda un cultivo de cerezas en la zona mediterránea, según la metodología del balance hídrico. Considerando las condiciones experimentales descritas en el estudio, el déficit hídrico supone un 46.3% de la dotación de agua de riego esperada, sin producirse una pérdida del rendimiento asociada.

Correa K. (2015), en su investigación titulada “EVALUACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE BANANO (*Musa sp*) UTILIZANDO LA ECUACIÓN DE LA FAO PENMAN-MONTEITH” (Ecuador), estudió el efecto de la evapotranspiración en los indicadores de rendimientos del cultivo del banano, variedad Cavendish. Se calculó la evapotranspiración potencial de las zonas en estudio utilizando el método de FAO Penman - Monteith. Se recopilaron datos para la respectiva evaluación de las variables siguientes: altura de planta, diámetro del pseudotallo, número de hojas, peso del racimo, número de manos y rendimientos del cultivo.

PECHP (2015), en el estudio técnico titulado “ACTUALIZACIÓN DE MÓDULOS Y COEFICIENTES DE RIEGO EN LOS VALLES: CHIRA, MEDIO Y BAJO PIURA POR EL MÉTODO COMBINADO DE PENMAN MONTEITH”

(Perú), explica las necesidades hídricas aplicando criterios técnicos utilizados por la bibliografía más autorizada en el cálculo de la evapotranspiración real de los cultivos en los valles Chira y Piura; tomando como base la información meteorológica de las estaciones Mallares y Miraflores del área de Hidrometeorológica del Proyecto Especial Chira Piura. Los resultados obtenidos constituyen un referente para una mejor gestión de los recursos hídricos, y tienden a impulsar el desarrollo de técnicas de mejoramiento de la eficiencia de riego..., dónde el módulo para el cultivo de banano alcanzó 21 975 m³/ha; mientras que para el cultivo de maíz se obtuvieron módulos de 8 179 m³/ha y 7 979 m³/ha en la primera y segunda campaña respectivamente.

Payán S. et al (2013), en su investigación titulada PROGRAMACIÓN DEL RIEGO EN VID (VITIS VINIFERA L.) DE MESA ‘PERLETTE’ Y ‘SUGRAONE’ CON SENSORES DE HUMEDAD. (México), concluye que, en los cultivares de vid de mesa ‘Perlette’ y ‘Sugraone’ se puede aplicar una disminución en la lámina de riego por debajo de la evapotranspiración potencial (ET_o), restringiendo los riegos en etapas no críticas del cultivo para reducir los efectos negativos en el rendimiento y calidad de la producción en la región de la costa de Hermosillo.

El continuo monitoreo de la humedad del suelo manteniendo tensiones de 25 a 50 cb hasta cosecha, y posteriormente de 100 a 200 cb, permite reducir el consumo de agua para riego sin afectar rendimiento y calidad.

El cultivar ‘Sugraone’ responde favorablemente al riego restringido, optimizando en 30 % el consumo de agua sin decrementos en rendimiento y calidad de la

producción. En cambio, en el cultivar 'Perlette' la restricción del riego provocó una reducción de dichos parámetros.

Lagunas A. (2013), en su investigación titulada “EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL RIEGO POR MEDIO DE SENSORES DE HUMEDAD DEL SUELO EN UN CULTIVO DE TOMATE PARA INDUSTRIA” (España), los resultados indican que tanto el modelo de programación de riego basado en el método de los coeficientes como la programación automática con sensores de humedad de suelo permiten obtener buenas producciones, de calidad adecuada, con una alta eficiencia en el uso del agua. Sin embargo, el manejo mediante sensores requiere un control continuo de los mismos por personal cualificado para evaluar y detectar posibles errores en las lecturas; por posibles problemas en la distribución del agua, por las conexiones del sensor o incluso por la propia dinámica del cálculo de la variable de salida del sensor (potencial del suelo o transformación del % de humedad volumétrica a % de agua útil), que afectaría al riego aplicado al cultivo.

Ortega, S. (2009), en su investigación “ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DIARIA DE UN CULTIVO DE TOMATES USANDO LA ECUACIÓN DE PENMAN-MONTEITH” (Chile), concluye que el modelo de Penman-Monteith subestimó la ET real con un error absoluto equivalente a 4,23% y una desviación estándar del error igual a 0,51 mm d⁻¹. Estos parámetros estadísticos, con relación a los observados en la literatura, indican que el modelo de Penman-Monteith puede ser una buena herramienta para calcular directamente la evapotranspiración real (ET_{real}) de cultivos de tomates para las condiciones edafoclimáticas de la zona de Talca, VII Región.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Banano

El banano se define como una planta herbácea con pseudotallos aéreos que se originan de cormos carnosos, en los que se desarrollan numerosas yemas laterales o "hijos". Las hojas tienen una distribución helicoidal (filotaxia espiral) y las bases foliares circundan el tallo (o cormo) dando origen al pseudotallo. La inflorescencia es terminal y crece a través del centro del pseudotallo hasta alcanzar la superficie. **Soto (2001)**

Características botánicas

Los bananos del valle del Chira pertenecen a la familia de las Musáceas, al género Musa y están dentro del sub grupo Cavendish (AAA); se caracterizan por:

La profundidad de enraizamiento depende de las condiciones del suelo y de la altura de la capa freática, la planta generalmente presenta una profundidad radical entre 5 y 10 m, pero alrededor del 85% de las raíces están dentro de los primeros 30 cm. de suelo y se reparten en un radio aproximado de 1.5 m alrededor del pseudotallo (**Araujo et al., 1995**)

Condiciones de riego

En el cultivo de banano, el crecimiento y la producción se ven afectadas drásticamente cuando no se proporciona el riego a tiempo o se tarda para suministrarlo y cuando la humedad del suelo se encuentra por debajo del nivel de agua total disponible. **Robinson y Bower (1988)**

El estrés hídrico es uno de los parámetros más delicados e importantes a la hora de suplir los requerimientos hídricos de las plantas, de ahí que las consecuencias sobre los procesos vitales de desarrollo de la planta casi siempre son nocivos y se

vuelven definitivos cuando se presenta la marchitez visible, la cual se traduce en consecuencias graves como la suspensión de la tasa de emisión foliar, reducción en el crecimiento de la planta, cambios temporales en el metabolismo y efectos irreversibles en la producción, que generan una fruta de baja calidad y con sus componentes físicos y químicos alterados. **Martín F y De Juan V (1993)**

Para incrementar los índices de producción se debe aplicar de un modo más eficiente la lámina de agua, de manera que se disminuya al máximo el volumen aplicado generando incrementos en la rentabilidad del cultivo. **Montazar y Kosari, (2006)**

Periodo vegetativo

365 días en 1° año de producción (**FAO**)

- Inicial: 120 días
- Desarrollo: 60 días
- Maduración: 180 días
- Final: 5 días

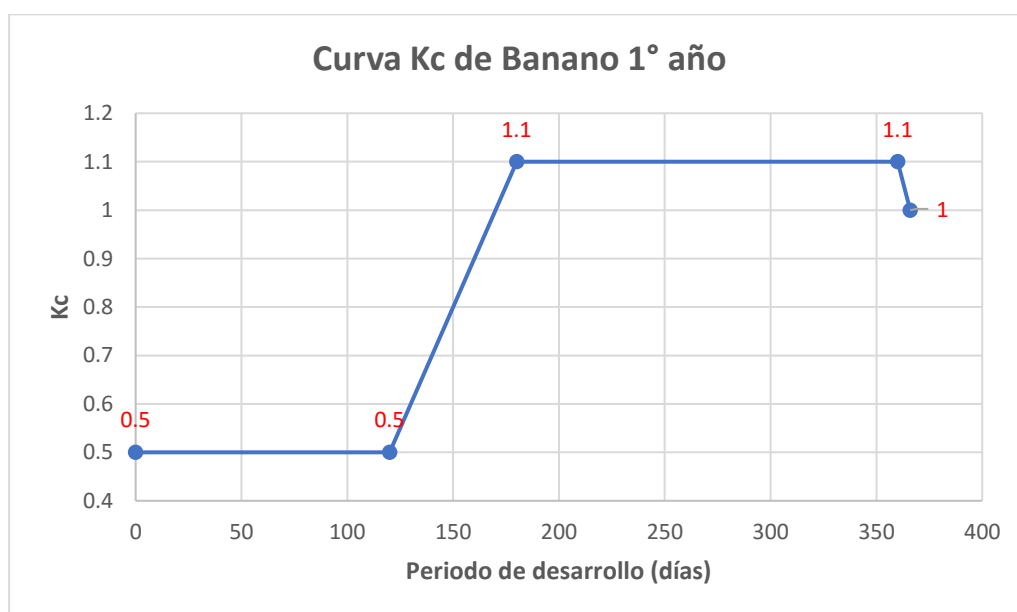


Gráfico 1. kc para cultivo de banano 1° año de desarrollo (Elaboración propia)

2.2.2. Maíz

En nuestro entorno se siembra normalmente, entre abril y junio y se cosecha en primavera, a partir de setiembre. Respecto a sus características botánicas, el maíz pertenece a las monocotiledóneas gramíneas.

Factores Ambientales

Temperatura

Para la siembra del maíz es necesaria una temperatura media del suelo de 10 °C, y que vaya en aumento. Para que la floración se desarrolle normalmente, conviene que la temperatura sea 18 °C, como mínimo. Por otra parte, el hecho de que deba madurar antes de los fríos hace que tenga que recibir bastante calor. Esto se deduce que es planta de países cálidos, con temperatura relativamente elevada durante toda su vegetación.

La temperatura más favorable para la nascencia se encuentra próxima a los 15 °C.

En la fase de crecimiento, la temperatura ideal se encuentra comprendida entre 24 y 30 °C. Por encima de los 30 °C se encuentran problemas en la actividad celular, disminuyendo la capacidad de absorción de agua por las raíces.

Humedad

Las fuertes necesidades de agua del maíz condicionan también el área del cultivo. Las mayores necesidades corresponden a la época de la floración, comenzando 15 ó 20 días antes de ésta, período crítico de necesidades de agua.

Suelos

El maíz se adapta a muy diferentes suelos. Prefiere pH comprendido entre 6 y 7, pero se adapta a condiciones de pH más bajo y más elevado, e incluso se da en

terrenos calizos, siempre que el exceso de cal no implique el bloqueo de microelementos.

Radiación Solar

El maíz es una de las plantas cultivadas de más alto nivel de respuesta a los efectos de la luz. De este hecho depende principalmente su elevado potencial productivo. Correlativamente la falta o reducción de la luz incide sobre su crecimiento y producción. Una disminución de un 90 a 100 de la intensidad lumínica, por un periodo de unos pocos días, produce la máxima reducción en el rendimiento en grano, si se produce durante la fase de polinización. La fase reproductiva resulta la más sensible a diferencias en la intensidad lumínica desde el punto de la producción de grano. Deraz (2010)

Periodo Vegetativo

140 días en clima árido (FAO)

- Inicial: 25 días
- Desarrollo: 40 días
- Maduración: 45 días
- Final: 30 días

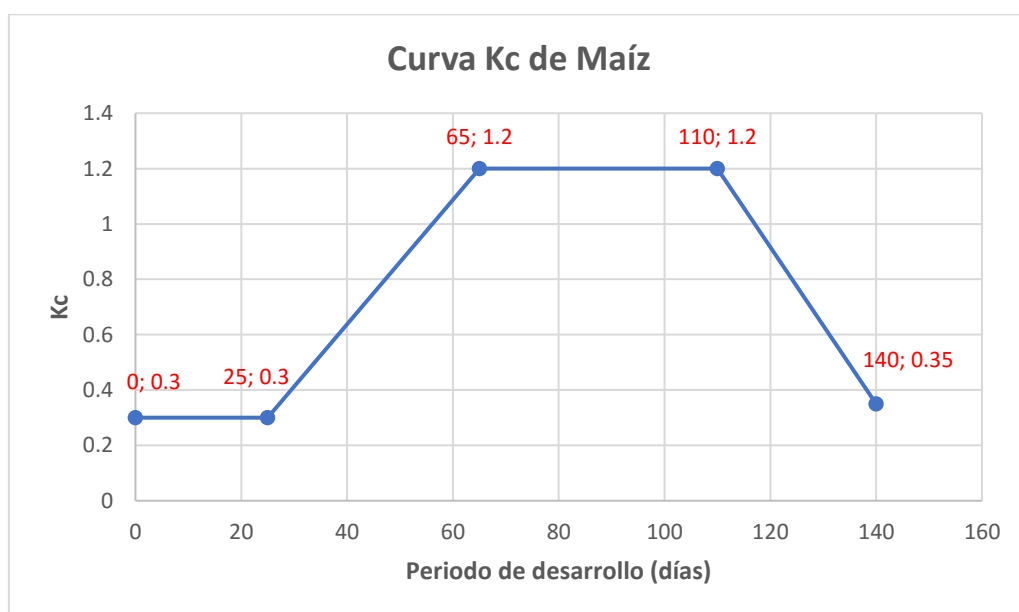


Gráfico 2. kc para cultivo de maíz (Elaboración propia)

2.2.3. El Riego

El riego es la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil del suelo para reponer en este el agua consumida por los cultivos entre dos riegos consecutivos.

Gurovich R. (1999)

El estudio de los parámetros que intervenían en el riego y de las relaciones suelo – planta – agua, concluyeron que la definición era demasiado general, además, de reponer el agua a disposición de la planta para que esta pudiera aprovecharla.

De esta forma surgió una definición más concreta del riego, como un medio superficial de aplicar el agua a la zona radicular de los cultivos de forma que esta pusiera ser utilizada al máximo. **Medina San Juan (2000)**

2.2.4. Coeficiente de Uniformidad

Para determinar la uniformidad de riego de una instalación, se seleccionan por operación, una unidad o subunidad de riego. En general, se deben escoger aquellas que trabajen en las condiciones más difíciles (más alejadas de los cabezales de campo) o donde se detectaron problemas a simple vista (obstrucciones de emisores, desuniformidad, bajo vigor del cultivo, etc.). **Merrian y Keller (1978)**

En estos sectores, se toman cuatro líneas portaemisores (laterales de riego), dos de ellos que correspondan a los más alejados y dos intermedios equidistantes de estos.

En el sentido del riego cuatro plantas: la primera, la segunda ubicada a $1/3$ del origen, la tercera a $2/3$ del origen y la última. De esta forma se logran 16 puntos de medición. **Merrian y Keller (1978)**

El coeficiente de uniformidad se distingue con la siguiente expresión:

$$CU = \frac{q_{25}}{q_m} \times 100$$

Dónde:

q_{25} = caudal medio de los emisores que constituyen el 25 % que erogán el más bajo caudal

q_m = el caudal medio de una instalación de riego

Liotta M. (2000)

2.2.5. Eficiencia de Aplicación

La eficiencia de riego se refiere a la precisión con la que las aplicaciones de agua se ajustan a las necesidades hídricas del cultivo, y en general responde a la pregunta de cuánta agua aplicar y con qué frecuencia. **Gurovich Luis A (1985)**

La eficiencia de aplicación está definida por la relación entre el volumen del agua retenida en la zona de raíces y que será utilizada para la evapotranspiración del cultivo (V_1), más el volumen de agua necesario para mantener un balance apropiado de sales en el perfil enraizado (V_2), y el volumen total de agua aplicado en el riego (V_0). Se utilizará V_2 , cuando se tiene agua o suelos con altos contenidos de sales, en caso contrario $V_2 = 0$. La relación utilizada para determinar E_a , es la siguiente:

$$E_a = \frac{V_1 + V_2}{V_0}$$

Donde:

V_1 : Volumen de agua retenida en la zona de raíces.

V_2 : Volumen de agua aplicada para mantener un balance de sales apropiado en la zona de raíces.

V_0 : Volumen total de agua aplicado en el riego.

Vásquez A. (2017)

2.2.6. Determinación de los Índices Técnicos

A. *Lámina de Riego*

También llamada dosis de riego, volumen de riego, tasa de riego o simplemente la cantidad de agua aplicada al suelo en cada riego, está indicado en m³ /ha o en mm de altura de agua aplicada. **Vargas (1997)**

B. *Lámina Neta*

La dosis neta así calculada es la mayor cantidad de agua a aplicar para que no exista percolación. En otras palabras, pueden utilizarse dosis más pequeñas, ya sea definiendo un valor máximo para la cantidad de agua a la capacidad de campo, ya sea adoptando una dosis fija según el método de riego utilizado. **Cisneros R. (2003)**

C. *Lámina Bruta*

Es la diferencia entre el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo y punto de marchitez permanente, expresados en porcentaje, multiplicado por la densidad aparente y la zona radicular, quedando con la siguiente ecuación: $LB = (CC - PMP) / 100 * Da * Zr$, expresada en centímetros (cm). **Sandoval (2007)**

D. *Condiciones Climáticas*

Evaporación

Es el proceso físico mediante el cual el agua pasa del estado líquido a vapor. La evaporación constituye una de las fases del ciclo hidrológico, y está influenciada por diversos factores. Entre los cuales, se tienen al: viento, temperatura, humedad relativa, radiación, composición y color del suelo, entre otros. En el caso de los cultivos, cuando se habla de evaporación, nos estamos refiriendo a la evaporación del agua que se encuentra en el suelo. **Vásquez A. (2017)**

Transpiración

Es el fenómeno físico por el cual el agua en estado de vapor se mueve desde el mesófilo de la planta hacia la atmósfera. Es decir, el flujo de agua de la planta a la atmósfera ocurre a través de las estomas y de las otras células epidérmicas, a través de la cutícula de la planta. Puede considerarse como una pérdida de agua de los tejidos de las plantas, pero no es estrictamente así, puesto que también desempeña una función refrigerante de las plantas. Los estomas si bien son el principal medio de salida del agua de la planta al exterior, también sirven para la entrada de CO₂ y la salida del O₂. **Vásquez A. (2017)**

El fenómeno de la transpiración tiene dos etapas:

- Evaporación del agua desde las paredes de las células del mesófilo a los espacios aéreos del mesófilo.
- Difusión del vapor de agua desde los espacios aéreos y del interior de la planta hacia el exterior, principalmente a través de las estomas. A la vez, las estomas son la vía de entrada de CO₂ que se utiliza en la fotosíntesis y, en general, la vía mayoritaria de intercambio gaseoso de la planta. **Vásquez A. (2017)**

Evapotranspiración

Es el proceso de flujo de agua hacia la atmósfera proveniente de la evaporación del agua del suelo y de la transpiración de las plantas. Es complejo y depende no sólo de los elementos físicos (climáticos) que afectan la evaporación, sino también de las características morfológicas y fisiológicas de la cobertura vegetal, del suelo y de su nivel de humedad. La evapotranspiración es un proceso combinado de evaporación y transpiración. En el periodo vegetativo de un cultivo, hay etapas críticas durante las cuales las plantas son exigentes en agua

o por el contrario, según la fisiología de cada cultivo, requieren de un stress o déficit de agua para lograr el óptimo rendimiento y calidad de los productos en la cosecha. **Vásquez A. (2017)**

Evapotranspiración potencial (ETP)

Es aquella que se produce en un cultivo de tamaño corto (generalmente pastos) que cubre toda la superficie del suelo, en estado activo de crecimiento y con un suministro adecuado y continuo del agua.

El comité técnico sobre requerimientos de riego de la Sociedad Americana de Ingeniería Civil (ASCE) ha utilizado a la alfalfa como pasto estándar para el cálculo de la evapotranspiración potencial. Por el contrario, algunos investigadores de la ciencia del riego han empleado otro tipo de pasto. **Vásquez A. (2017)**

Evapotranspiración Máxima

Es el máximo consumo de agua que ocurre en un momento determinado del ciclo vegetativo de un cultivo, bajo condiciones de óptima humedad del suelo, sanidad, entre otros factores. **Vásquez A. (2017)**

El término evapotranspiración máxima, se define como la ET de un cultivo específico en condiciones de densidad y de fertilización del suelo optima, que crece y se desarrolla en un suelo bien provisionado de agua (de forma que esta no se constituya en un factor limitante de su intensidad de crecimiento), ubicado bajo condiciones inyectivas despreciables en las condiciones climáticas habituales de la región consideradas. **Tarjuelo M. (2005)**

Evapotranspiración Real (ETA)

La evapotranspiración real o actual, es la que se produce cualesquiera que sean las condiciones de las plantas y del suelo. Se la define también como la tasa real de consumo de agua de un cultivo. Entre los factores que afectan o definen la evapotranspiración real o uso consuntivo de agua de un cultivo, están los mismos que afectan a la evaporación del agua del suelo y a la transpiración de las plantas, tales como:

- Elementos climáticos
- Especie vegetal o cultivo y sus características genéticas.
- Nivel de humedad del suelo.
- Características físicas y químicas del suelo
- Sanidad y vigorosidad del cultivo
- La fase vegetativa del cultivo.

Vásquez A. (2017)

Coeficiente de cultivo (Kc)

Este factor Kc representa el resumen de las diferencias físicas y fisiológicas entre los cultivos y la definición de cultivo de referencia. **FAO**

Es el factor que indica el grado de desarrollo de las plantas o cobertura el suelo por el cultivo. **Vásquez A. (2017)**

Precipitación Efectiva

Durante el proceso de almacenamiento hídrico del reservorio “suelo”, la precipitación pluvial constituye un alto porcentaje (en algunos casos el total del contenido de agua en el suelo); pero parte de la lluvia de la que dispone la planta

para su desarrollo es únicamente una fracción de esta; la otra parte se pierde por escorrentía, percolación profunda o evaporación. **Vásquez A. (2017)**

En este sentido, al volumen de agua de lluvia parcial utilizado por las plantas para satisfacer sus correspondientes necesidades hídricas para su normal desarrollo se le ha definido como precipitación efectiva (Pe).

Existen diversos métodos empíricos para estimar la Pe, como el Water Power Resources Service, Bureau of Reclamation y el Servicio de Conservación de Suelos. **Vásquez A. (2017)**

E. Condiciones del Suelo

Densidad Aparente

Se define como el cociente que resulta de dividir el peso de suelo seco entre el volumen total, incluyendo los poros. Usualmente se expresa en gr/cm³. Para fines prácticos, conceptualmente esto es lo mismo que la gravedad específica, peso específico o peso volumétrico. **Cisneros R. (2003)**

El cálculo se efectúa mediante la relación:

$$D_{ap} = \frac{P_s}{V_t} = \frac{M_s}{V_t}$$

Normalmente, la determinación de la densidad aparente se puede efectuar mediante el método del anillo volumétrico o el método de la parafina. El más utilizado es el primero, y consiste en extraer una muestra de suelo no alterada, mediante un cilindro de volumen conocido y a la profundidad deseada. El volumen de un cilindro de tamaño adecuado para este tipo de trabajo, normalmente, varía entre 100 y 400 cm³. **Vásquez A. (2017)**

Textura

La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades **FAO, Atlas (2014)**

Para determinar la clase textural del suelo, es necesario realizar un análisis de laboratorio, cuyos resultados se interpretan a través del "Triángulo de Textura" o "Triángulo Textural". Se puede distinguir doce clases texturales. Éstas se pueden agrupar en tres denominaciones de carácter más general:

- Suelos de textura gruesa o ligera.
- Suelos de textura media.
- Suelos de textura fina, pesada o arcillosa.

Vásquez A. (2017)

Capacidad de Campo

Se entiende como tal al contenido de humedad del suelo cuando ha cesado el drenaje rápido en el suelo y la redistribución se hace lenta.

Se suele conocer como el contenido de humedad de un suelo con drenaje libre 2 o 3 días después de un riego abundante en suelos arcillosos y 1 día en suelos arenosos.

Tradicionalmente se ha considerado una constante para cada suelo y se ha utilizado para determinar las dosis de riego. Se puede interpretar como una medida de la cantidad de agua que un suelo es capaz de retener en contra de las fuerzas de la gravedad. **Tarjuelo M. (2005)**

Punto de Marchitez

Se define como el contenido de humedad de suelo cuando el potencial mátrico ha bajado hasta -15 bar. La planta es incapaz de extraer agua a potenciales más bajos. Esto no es rigurosamente cierto pues varía según cultivo. Unos empiezan a sufrir a niveles de potencial muy superiores al indicado y otros son capaces de agotar el suelo hasta valores de potencial sensible inferiores. **Tarjuelo M. (2005)**

Saturación

Esta condición de suelos saturados se presenta en suelos situados por debajo del nivel de agua freática, donde las fases presentes, son: sólida y líquida, es decir, que los espacios vacíos o poros del suelo están ocupados por agua. **Meza (2012)**

La saturación se refiere al contenido de agua del suelo cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua. En los suelos bien drenados, es un estado temporal ya que el exceso de agua drena de los poros grandes por influencia de la gravedad para ser reemplazada por aire. **FAO (2005)**

2.2.7. Humedad Disponible

Esta comprendido entre CC y PM. No toda esta humedad es igualmente accesible a las plantas de aquí que para la programación de los riegos se deje agotar únicamente una porción del Intervalo de Humedad disponible, denominada Déficit Permisible de Manejo, que normalmente varía entre el 30 % y 65 % del IHD. **Tarjuelo M. (2005)**

A. Método directo o gravimétrico

Representa el método standard para determinar el contenido de humedad del suelo, y sirve de base para el empleo de los métodos indirectos. El método y

equipos usados son simples y se pueden aplicar en todos los suelos. Su práctica tiene los siguientes pasos:

Toma de la muestra de suelo del terreno o campo que se quiere conocer su contenido de humedad. El peso de la muestra varía entre los 20 a 200 gramos. Paralelo a esto se toma lectura de la tensión del suelo en el momento del muestreo.

La muestra se coloca en tarritos de aluminio, con tapa hermética codificada, aunque no es lo mejor, en pequeñas bolsas de plástico que lleven una etiqueta de identificación. Las muestras húmedas que proceden de estas bolsitas se colocan en tarritos de peso conocido y luego se pesan.

Las muestras húmedas pesadas se secan en la estufa durante 24 horas a una temperatura de 105°C, para luego volver a ser pesadas. La diferencia de peso que registre se deberá a la pérdida de agua.

El contenido de humedad se calcula mediante la relación:

$$\theta_{masa} (\%) = \frac{masa\ de\ agua}{masa\ de\ suelo\ seco} * 100$$

B. Variación de contenido de humedad-curva de retención

Se aplicará el método analítico basado en los mínimos cuadrados. El principio de este método consiste en determinar los parámetros que miden el grado de asociación entre las variables del contenido de humedad (% masa) y la tensión de humedad, logrando como resultado la ecuación y curva de humedad del suelo.

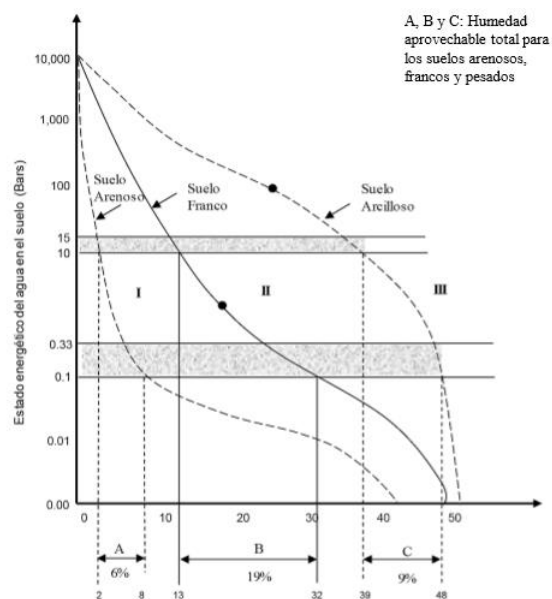


Figura 1: Curva de retención de tres suelos característicos (Vásquez A.)

2.2.8. Tipos de Riego

A. El sistema de riego localizado presurizado

Tratando de paliar estas situaciones se diseñan técnicas que pretenden ser cada vez más eficientes en el manejo y conservación del agua. Una de las de mayor éxito, ampliamente aceptada y utilizada, es la de riego localizado, que consiste en suministrar el agua de modo que sólo moje una parte del suelo de cultivo, aquél donde se desarrollan las raíces.

Además de la aplicación de agua al suelo, este sistema posibilita el aporte de los fertilizantes necesarios. Es aconsejable el suministro frecuente de agua, en cantidades relativamente pequeñas, es decir, que el número de riegos en una campaña pueda ser elevado aportando cada vez una cantidad de agua y fertilizantes relativamente pequeña. Se pretende con esta metodología que el agua y los nutrientes estén disponibles en el suelo, en las condiciones óptimas para ser: extraídos por la planta, y en un nivel prácticamente constante, sin fluctuaciones que puedan afectar la producción final del cultivo.

B. El cabezal de riego

Es el conjunto de elementos destinados a filtrar, tratar, medir y suministrar el agua a la red de distribución y se encuentra distribuido de la siguiente forma:

Unidad de Impulsión de agua: " ... es sin duda el principal componente de un sistema de riego presurizado, la que debe otorgar presión y caudal de agua suficiente al sistema, situación que debe estar en función de las necesidades que demanda una instalación en particular." **Villablanca A. (2010)**

Unidad de Filtrado: " ... depende de la calidad de agua y del tipo de emisor que se utilizará. Si se desea regar con aguas con abundante materia orgánica en suspensión, el tipo de filtraje deberá ser diferente a aquel que utilice agua con arena en suspensión".

Entre los principales elementos de regulación y control se cuentan: válvulas de paso, reguladores de presión, hidráulicas, electrónicas, volumétricas, etc. Su operación directa o indirecta (mediante programadores) regulan el comportamiento de flujo y la presión en la red." **Villablanca A. (2010)**

Entre los principales elementos de medición, se tiene: manómetros que miden la presión del agua en la tubería, son muy útiles para detectar fallas en el sistema. Por ello, los manómetros se instalan de preferencia al comienzo del cabezal y al comienzo de los laterales. **Blair E. (1979)**

C. Fuente de agua

El agua para el riego presurizado puede tener cualquier origen (río, acequia, pozo, reservorio). Lo importante es que el agua esté libre de sólidos en suspensión, que tenga baja concentración de bacterias y que su concentración de sales esté dentro de los límites de tolerancia aceptable para el riego por goteo. **Blair E. (1979)**

D. Bombeo

Normalmente la energía que impulsa al agua de riego resulta del empleo de una o más bombas de agua, que se encargan de que esta llegue a los emisores con la suficiente presión. Las bombas utilizadas para la captación de agua desde balsas, estanques o depósitos son las denominadas centrífugas que, en la superficie, son capaces de aspirar el agua desde una altura máxima de alrededor de siete metros. Para la extracción de agua de pozos se utilizan bombas de otro tipo, llamadas sumergibles. **Fernandez y Gonzales (2014)**

E. Red de Conducción y Distribución

Esta red está básicamente constituida por una tubería principal, provista a veces con tuberías auxiliares, y tuberías laterales de distribución, dotadas con sus respectivos emisores o goteros. Los materiales de los tubos más utilizados, son el PVC y el polietileno. Los tubos son relativamente rígidos, debido a que el PVC es susceptible de deformaciones y deterioro por efecto de los agentes meteorológicos, las tuberías de este material se usan principalmente como principales enterrados. Los tubos de polietileno de densidad media, pigmentado con negro de humo, son los más corrientemente utilizado como laterales de distribución. Son menos sensibles al deterioro o la deformación por los agentes externos. Por ello se colocan sobre la superficie del terreno, lo cual facilita su inspección. **Blair E. (1979)**

F. Sistema de riego por goteo

Es un sistema de riego que se caracteriza por una aplicación del agua lenta y localizada a la planta.

Dentro del riego presurizado, la tecnología de riego por goteo, es la más avanzada de que se dispone actualmente para la aplicación eficiente de agua a los cultivos, y consiste fundamentalmente, en aplicar el agua en zona radicular, en forma de gotas, mediante un sistema de tuberías y emisores, logrando la máxima eficiencia en la distribución hídrica. El principio básico comprende la entrega a baja presión de agua limpia a través de emisores individuales. Este sistema de riego requiere menos energía que los sistemas de aspersión. Además, como solo maneja una parte del suelo, se pierde poca agua por evaporación, excepto la que pasa por la planta y sale al aire por transpiración, de modo que se obtiene una eficiencia de aplicación superior al 90%. El goteo es un tipo de riego de flujo diario, ya que normalmente se aplica diariamente, pero en volúmenes reducidos, evitando, de esta manera, la lixiviación de elementos nutritivos. **Calvache (2005)**

G. Sistema de riego por Microaspersión

Este riego es una variante del riego por aspersión (lanza a presión cortinas de gotas de agua que salen de un emisor) pero con menos alcance -el agua no llega tan lejos- y gotas más pequeñas. Aquí se proyecta el agua en forma de lluvia fina y desde unos 30 cm de la superficie del suelo a través del aire a una distancia de 1 a 2,5 m, mojando una superficie de 2 a 5 m de diámetro. Los caudales se encuentran en el orden de 25 a 120 l/h. Existen fundamentalmente dos tipos:

- Microaspersores: Poseen una bailarina giratoria donde el chorro va rotando.
- Microjets. Emiten el agua en forma de rayos (jets) sin rotar. Es estático (no poseen partes móviles). **Liotta. Mario A. (2000)**

2.2.9. Modelo Penman-Monteith

El método FAO Penman-Monteith fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia, como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0,23 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado. El método reduce las imprecisiones del método anterior de FAO Penman y produce globalmente valores más consistentes con datos reales de uso de agua de diversos cultivos. **FAO**

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (6)$$

donde:

ET _o	evapotranspiración de referencia (mm día ⁻¹)
R _n	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m ⁻² día ⁻¹)
R _a	radiación extraterrestre (mm día ⁻¹)
G	flujo del calor de suelo (MJ m ⁻² día ⁻¹)
T	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
u ₂	velocidad del viento a 2 m de altura (m s ⁻¹)
e _s	presión de vapor de saturación (kPa)
e _a	presión real de vapor (kPa)
e _s - e _a	déficit de presión de vapor (kPa)
Δ	pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C ⁻¹)
γ	constante psicrométrica (kPa °C ⁻¹)

Figura 2: Ecuación Penman-Monteith (FAO)

La ecuación utiliza datos climáticos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. Para asegurar la precisión del cálculo, los datos climáticos deben ser medidos o ser convertidos a 2 m de altura, sobre una superficie extensa de pasto verde, cubriendo completamente el suelo y sin limitaciones de agua.

No se puede esperar que ninguna ecuación formulada para el cálculo de la evapotranspiración y basada en datos climáticos, determine la evapotranspiración perfectamente, bajo diferentes situaciones climáticas específicas. Esto debido

principalmente a la simplificación en la formulación y los errores en la recopilación de los datos climáticos.

Es probable que instrumentos de precisión, bajo condiciones ambientales y biológicas completamente controladas, demuestren que la ecuación de FAO Penman-Monteith se desvía ocasionalmente de mediciones reales de la ETo del pasto. Sin embargo, el panel de expertos acordó utilizar la definición hipotética del cultivo de referencia sobre el que se basa la ecuación FAO Penman-Monteith como un valor de comparación homogeneizado de tal manera que los datos de diferentes zonas del mundo sean comparables entre sí. **FAO(2006)**

2.2.10. Sensores Watermark

Es un dispositivo de detección de resistencia eléctrica en estado sólido que se utiliza para medir la tensión de humedad del suelo. A medida que cambia la tensión con el contenido de agua, la resistencia también cambia. Esta resistencia puede medirse con el sensor WATERMARK. El sensor consiste en un par de electrodos de alta resistencia a la corrosión que están incrustados en una matriz granular. Una corriente es aplicada al WATERMARK para obtener un valor de resistencia. El medidor o monitor WATERMARK correlaciona la resistencia a centibares (cb) o kilopascales (kPa) de tensión de agua del suelo. El WATERMARK está diseñado para ser un sensor permanente, colocado en el suelo para ser monitoreado y “leído” tantas veces como sea necesario con un dispositivo portátil o fijo. El yeso instalado internamente proporciona alguna compensación para el efecto de los niveles de salinidad encontrados normalmente en los cultivos agrícolas.

El agua del suelo es un conductor eléctrico y en consecuencia proporciona una indicación relativa del estatus de humedad del suelo. A medida que el suelo se seca,

el agua es extraída del sensor y se incrementa la medida de la resistencia. Por el contrario, cuando el suelo es rehumedecido, la resistencia disminuye.

Características:

- Calibración estable comprobada
- Rango de medición de 0 a 239 cb (kPa)
- Totalmente estado sólido
- No se disuelve en el suelo
- No es afectado por bajas temperaturas
- Compensado internamente para los niveles de salinidad encontrados comúnmente
- Económico, fácil de instalar y usar
- Compatible con dispositivos de lectura de AC o DC
- (requiere circuito especializado)
- No requiere mantenimiento

2.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

Kc: coeficiente de un cultivo en particular que permite calcular el consumo de agua o evapotranspiración real de un cultivo en particular a partir de la evapotranspiración de referencia

Estación meteorológica: Una estación meteorológica es el lugar donde se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico.

Balance hídrico: se deriva entre todos los recursos hídricos que ingresan a un sistema y los que salen del mismo, en un intervalo de tiempo determinado. Para la determinación del balance hídrico se debe hacer referencia al sistema analizado.

Variable meteorológica: toda propiedad o condición de la atmosfera, cuyo conjunto define el estado físico del tiempo o del clima de un lugar determinado, para un momento o un periodo de tiempos dados es un elemento meteorológico que se puede conservar la variable.

SMS (Sensor de Humedad del suelo): este sensor está pensado para el control de humedad del suelo o tierra de plantas y es el sensor perfecto para plantas conectadas! El sensor es muy sencillo de utilizar ya que devuelve una tensión proporcional al nivel de humedad medido. De esta manera se puede saber con relativa precisión si la tierra está seca, húmeda o tiene demasiada agua.

2.4. MARCO REFERENCIAL

2.4.1. Ubicación del proyecto

El campo experimental del Centro de Formación Profesional Binacional, se encuentra ubicado en el Centro Poblado Mallares, Distrito de Marcavelica, Provincia de Sullana, Departamento de Piura.

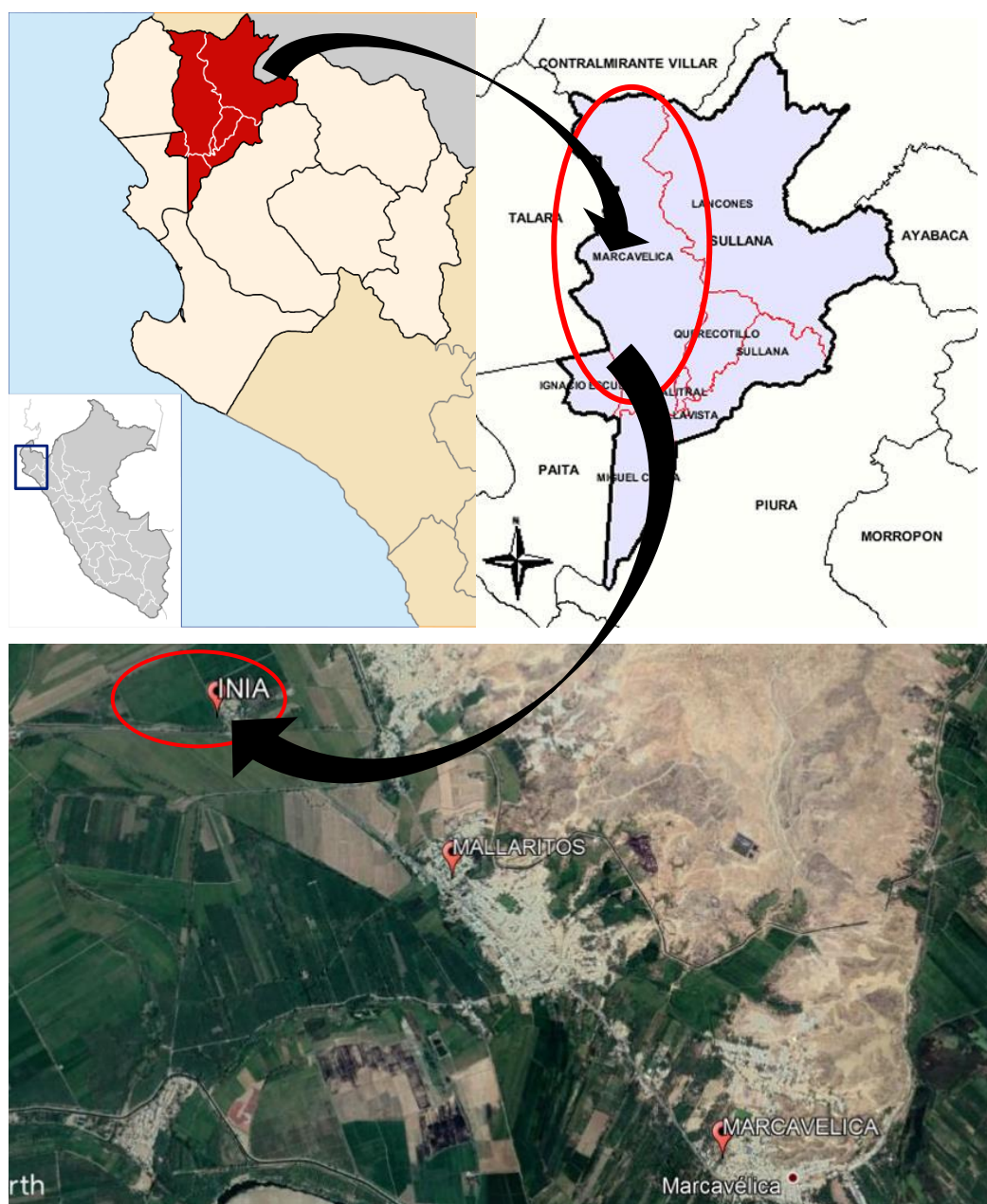


Figura 3: Ubicación de campo experimental Centro de Formación Profesional Binacional (Elaboración propia)

Ubicación Geográfica (UTM-WGS84)

Norte:	9463373
Este:	528614
Altitud:	43 m.s.n.m.

2.5. HIPÓTESIS

2.5.1. Hipótesis General

El conocimiento de la información obtenida a través de equipos de alta precisión, como son: Estación Meteorológica Portátil y Sensores de Humedad del Suelo electrónicos, permiten al usuario, calcular la cantidad correcta de agua y por consiguiente mejorar la eficiencia de aplicación en el riego y un mejor desarrollo de los cultivos de banano y maíz.

2.5.2. Hipótesis Específicas

- El almacenamiento de una serie de datos durante las 24 horas del día por parte de la estación meteorológica portátil, garantiza información real para el cálculo de la evapotranspiración potencial con el modelo Penman-Monteith.
- La lectura instantánea y digitalizada de las condiciones de humedad del suelo que brindan los sensores de humedad, permiten calcular con más precisión la lámina de riego que debe ser aplicada al cultivo.
- Con el cálculo y monitoreo constante de las láminas aplicadas y de los sistemas de riego durante el periodo de investigación, por tipo de riego, se conocerá las eficiencias de riego en cada caso.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. ENFOQUE

La investigación tiene un enfoque cuantitativo a partir de la obtención de datos, el cálculo preciso de las láminas de riego aplicadas y la eficiencia de los sistemas de riego para los cultivos de Banano y Maíz

3.2. SUJETOS DE LA INVESTIGACIÓN

En los ensayos a realizar, es decir tanto en el cultivo de Banano, como en Maíz, se trata de experimentos Bi-factoriales (Dos factores) en estudio: Sistemas de Riego y el método para calcular la lámina de riego; ambos con dos niveles, por tanto, tendremos $02 \times 02 = 04$ tratamientos por cultivo, que se dispondrán en una prueba de hipótesis (t de Student).

Las medias poblacionales consideradas son las láminas de riego en cada tratamiento. A partir de estos datos se realizará la comparación de medias empleando la prueba de “t” de Student con un nivel de significación de 0.05 (5%)

Para el caso del Banano, los Factores, Niveles y Tratamientos, serán los siguientes:

Tabla 1. *Factor, nivel, tratamientos y clave para cultivo de banano*

FACTOR	NIVEL	TRATAMIENTO	CLAVE
Sistema de Riego (S)	Gravedad (S1)	Gravedad x Penman	S1M1
	Microaspersión (S2)	Gravedad x Sensor	S1M2
Método para calcular la lámina de riego (M)	Penman (M1)	Microaspersión x Penman	S2M1
	Sensor (M2)	Microaspersión x Sensor	S2M2

Elaboración propia

Para el caso del maíz, los Factores, Niveles y Tratamientos, serán los siguientes:

Tabla 2. *Factor, nivel, tratamientos y clave para cultivo de maíz*

FACTOR	NIVEL	TRATAMIENTO	CLAVE
Sistema de Riego (S)	Gravedad (S1)	Gravedad x Penman	S1M1
	Goteo (S3)	Gravedad x Sensor	S1M2
Método para calcular la lámina de riego (M)	Penman (M1)	Goteo x Penman	S3M1
	Sensor (M2)	Goteo x Sensor	S3M2

Elaboración propia

TRATAMIENTOS

Tabla 3. *Tratamientos para el cultivo de banano*

Nº	CULTIVO	TRATAMIENTO	CLAVE
1	BANANO	Riego por Gravedad x Penman	S1M1
2		Riego por Gravedad x Sensor	S1M2
3		Riego por Microaspersión x Penman	S2M1
4		Riego por Microaspersión x Sensor	S2M2

Elaboración propia

Tabla 4. *Tratamientos para cultivo de maíz*

Nº	CULTIVO	TRATAMIENTO	CLAVE
1	MAÍZ	Riego por Gravedad x Penman	S1M1
2		Riego por Gravedad x Sensor	S1M2
3		Riego por Goteo x Penman	S3M1
4		Riego por Goteo x Sensor	S3M2

Elaboración propia

Tabla 5. *Tratamientos comparados en cultivo de banano*

Cultivo de Banano	
N°	Tratamientos comparados
1	S1M1 vs S1M2
2	S2M1 vs S2M2
3	S1 vs S2

Elaboración propia

Tabla 6. *Tratamientos comparados en cultivo de maíz*

Cultivo de maíz	
N°	Tratamientos comparados
1	S1M1 vs S1M2
2	S3M1 vs S3M2
3	S1 vs S3

Elaboración propia

3.3. CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL

Tabla 7. *Dimensiones de áreas experimentales*

CULTIVO	SISTEMAS DE RIEGO	DIMENSIONES		ÁREA (m2)
		ANCHO	LARGO	
BANANO	Gravedad	20	48.6	972.00
	Microaspersión	20	48.6	972.00
MAÍZ	Gravedad	18	48.6	874.80
	Goteo	18	48.6	874.80

Elaboración propia

- Para el cultivo de Banano, se tiene un área de 486 m2 por tratamiento con 98 plantas por tratamiento ya instalado. El cultivo se encuentra en su segundo año de producción.
- Para el cultivo de maíz se instalará el cultivo, aproximadamente 1770 plantas por tratamiento en un área aproximada de 437.4 m2 para cada uno.

3.4. OBSERVACIONES AGRONÓMICAS

Tabla 8. *Parámetros agronómicos de evaluación*

CULTIVO	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN		FRECUENCIA
BANANO	Parámetros de rendimiento	Diámetro de Pseudotallo	1 vez/semana
		Nº de manilla por racimo	
		Ratio	
		Longitud de mazorca	
MAÍZ	Parámetros de rendimiento	Peso de mazorca	Cosecha, estado R6: Madurez Fisiológica
		Peso de granos sin mazorca	

Elaboración propia

3.5. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

3.5.1. Trabajo de Campo

1) *Reconocimiento de la zona de proyecto (INIA-Mallares)*

Se ubicaron y delimitaron las áreas experimentales para los cultivos en estudio con sus respectivos tratamientos.



Figura 4. Delimitación de áreas experimentales (Elaboración propia)

- Sistemas de riego por gravedad y microaspersión para banano de dimensiones 20m x 48.6m (972.00 m²).
- Sistemas de riego por gravedad y goteo para maíz de dimensiones 18m x 48.6m (874.80 m²).

2) *Toma de muestras y análisis*

Muestreo y análisis de suelo.

Toma de muestra en parcela experimental del Centro de Formación Profesional Binacional y su posterior análisis en Laboratorio de Suelos, UNP. Cuyas especificaciones de muestran en los anexos del presente documento.

Muestreo y análisis de agua para riego.

Toma de muestra en canal parcelario ubicado en áreas experimentales del Centro de Formación Profesional Binacional y su posterior análisis en Laboratorio de Química Orgánica, UNP. Sus especificaciones se muestran en los anexos del presente documento.

3) *Instalación de equipos*

Calibración de sistemas de riego presurizado (pruebas de presiones y caudales).

Para calibración de los sistemas de riego presurizado se tomó en cuenta el diseño agronómico previamente realizado, considerando una Eto máxima de 5.5 mm/día.

El caudal promedio de la bomba que se utilizó en el riego, es de 6 l/s aproximadamente; y de acuerdo a las especificaciones técnicas de los emisores de riego se tomó la decisión de trabajar a una presión de 2 bar para el sistema de riego por microaspersión y a una presión de 1 bar en el sistema de riego por goteo.



Figura 5. Instalación y calibración de bomba de riego

Instalación de Estación Meteorológica Portátil “Vantage Pro 2”

Se procedió con la instalación de la estación meteorológica portátil en el Centro de Formación Profesional Binacional, aproximadamente a 750 m del área experimental en una zona libre de obstáculos, apropiada para el correcto funcionamiento del equipo.

Esta estación registra datos cada media hora, y los almacena en su memoria para su posterior descarga. Proporciona los datos necesarios de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, horas de sol y precipitación.



Figura 6. Estación meteorológica portátil en CFPB Mallares

Instalación de tensiómetros y sensores de humedad “Watermark”

a. Selección del sitio para los sensores

Un sitio de medición requiere un mínimo de dos (02) sensores colocados en profundidades distintas. Por ejemplo, ubicar un sensor en la zona de las raíces superficiales y otro en la zona de las raíces más profundas del cultivo.

b. Localización de los sensores

En riego por surcos o por inundación

Los sensores se sitúan por lo general hacia los 2/3 del recorrido del surco, por ser esta la zona de menor penetración del agua y peor regada.

En riego localizado

Los sensores deben colocarse en el bulbo húmedo, entre 30 y 45 cm del emisor de goteo o entre 60 y 90 cm del micro aspersor.

c. Profundidad de colocación de los sensores

El criterio adecuado es instalar los sensores en la zona radicular efectiva del cultivo. Adicionalmente, es recomendable la instalación de sensores en profundidades mayores a la zona radicular, para monitorear el movimiento del agua a causa de la percolación en caso esta existiera.

Para el proyecto, se decidió de instalar 02 sensores de profundidades 30 y 60 cm en sistema de riego por microaspersión para el cultivo de banano, ubicados en el centro del área experimental; 02 sensores de profundidades 30 y 60 cm en el sistema de riego por gravedad para el cultivo de banano, ubicados en el último tercio de la longitud del surco; 01 sensor de profundidad 30 cm en sistema de riego por goteo para el cultivo de maíz, ubicado en el centro del área experimental; y 01 sensor de profundidad 30 cm en sistema por gravedad para cultivo de maíz, ubicado en el último tercio de la longitud del surco.



Figura 7. Sensores de humedad del suelo, a diferentes profundidades.

4) *Ensayos en campo experimental*

Ensayo de velocidad de infiltración (Anillos o cilindros infiltrómetros).

La determinación de los parámetros de la función de la velocidad de infiltración puede hacerse mediante el método gráfico o el método analítico, para lo cual se utiliza la información obtenida en campo: velocidad de infiltración (cm/ho) y tiempo acumulado (min). La determinación se efectúa empleando el método de los mínimos cuadrados.

- Cálculo de los parámetros de la función de la lámina infiltrada acumulada (Icum)

$$Icum = AT_0^B$$

Se utilizan las siguientes relaciones, para el parámetro “B”:

$$B = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

Donde:

$$Y = \log Icum$$

$$X = \log T_0$$

Para calcular el parámetro A, primero se calcula “A₀”

$$A_0 = \frac{\sum Y_i}{n} - b \frac{\sum X_i}{n}$$

$$A = \text{antilog} (A_0)$$

- Cálculo de los parámetros de la función de la velocidad de infiltración *i*

$$i = aT_0^b$$

Se utilizan las siguientes relaciones, para el parámetro “b”:

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

Donde:

Y = log velocidad promedio

X = log T0

Para calcular el parámetro a, primero se calcula “a0”

$$a_0 = \frac{\sum Y_i}{n} - b \frac{\sum X_i}{n}$$

$$a = \text{antilog} (a_0)$$

a. Suelo ya cultivado y regado (banano)

Tabla 9. *Lecturas de ensayo de infiltración para suelo cultivado*

Tiempo Parcial	Tiempo Acum.	Lectura	Lámina Parcial	Lámina Acumulada	Velocidad Instant.	Velocidad Promedio
0	0	20.00	-	0	-	-
5	5	19.80	0.20	0.20	2.4	2.4
5	10	19.60	0.20	0.40	2.4	2.4
5	15	19.30	0.30	0.70	3.6	2.8
5	20	18.90	0.40	1.10	4.8	3.3
5	25	18.50	0.40	1.50	4.8	3.6
5	30	18.30	0.20	1.70	2.4	3.4
10	40	18.00	0.30	2.00	1.8	3.0
10	50	17.70	0.30	2.30	1.8	2.8
10	60	17.40	0.30	2.60	1.8	2.6
30	90	16.60	0.80	3.40	1.6	2.3
30	120	15.90	0.70	4.10	1.4	2.1

Elaboración Propia

b. Suelo sin cultivar (maíz)

Tabla 10. *Lecturas de ensayo de infiltración para suelo sin cultivar*

Tiempo Parcial	Tiempo Acum.	Lectura	Lámina Parcial	Lámina Acumulada	Velocidad Instant.	Velocidad Promedio
0	0	18.00	-	-		
5	5	15.50	2.50	2.50	30.00	30.00
5	10	14.40	1.10	3.60	13.20	21.60
5	15	13.30	1.10	4.70	13.20	18.80
5	20	12.70	0.60	5.30	7.20	15.90
5	25	12.10	0.60	5.90	7.20	14.16
5	30	11.50	0.60	6.50	7.20	13.00
10	40	16.70	1.30	7.80	7.80	11.70
10	50	15.40	1.30	9.10	7.80	10.92
10	60	13.90	1.50	10.60	9.00	10.60
30	90	11.10	2.80	13.40	5.60	8.93
30	120	8.70	2.40	15.80	4.80	7.90

Elaboración Propia

Ensayo de humedad del suelo y curva de retención de humedad

Método directo o gravimétrico para determinar el contenido de humedad del suelo

El contenido de humedad se calcula mediante la relación:

$$\theta_{masa} (\%) = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de suelo seco}} * 100$$

Tabla 11. *Datos de ensayo de humedad del suelo*

$\theta\%$	Tensión (ψ)
38.80	1
38.64	2
38.21	5
37.88	7
37.42	8
37.01	9
36.77	10
36.11	15
35.55	20
34.66	25
34.08	30
32.97	50
32.00	70
30.92	90
29.90	100
27.85	150
25.54	200

Elaboración propia

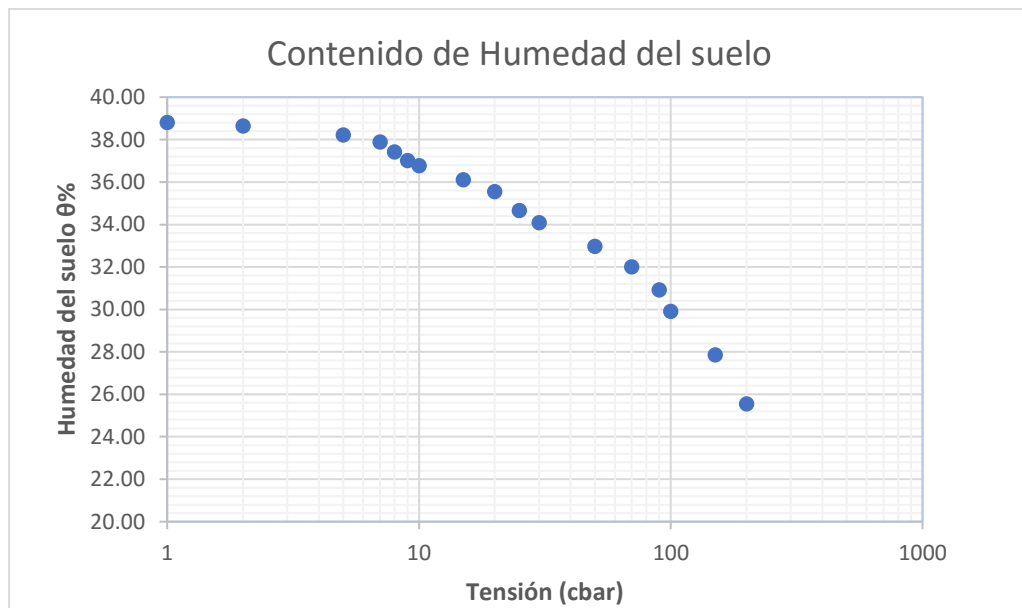


Gráfico 3. Contenido de humedad del suelo in situ (Elaboración propia)

Haciendo uso de Microsoft Excel, se obtiene la línea de tendencia que más se acomoda y la ecuación de humedad para cualquier valor.

Ensayo de coeficiente de uniformidad y eficiencia de los sistemas de riego presurizado.

Se realizó ensayo cada 2 meses, obteniendo 3 pruebas a lo largo del estudio.

Para la evaluación en los sistemas de riego se optó por la metodología estándar en Evaluaciones de riego; se seleccionó 4 líneas de riego por sistema de riego y en cada línea 4 unidades de riego o emisores. Las unidades de riego o emisores de estudio constan con las siguientes características.

Para determinar la uniformidad de riego de una instalación se seleccionan por operación, una unidad o subunidad de riego. En general, se deben escoger aquellas que trabajen en las condiciones más difíciles (más alejadas de los cabezales de campo) o donde se detectaron problemas a simple vista (obstrucciones de emisores, des uniformidad, bajo vigor del cultivo, etc.).

En estos sectores, se toman cuatro líneas porta emisores (laterales de riego), dos de ellos que correspondan a los más alejados y dos intermedios equidistantes de estos. En el sentido del riego cuatro plantas: la primera, la segunda ubicada a 1/3 del origen, la tercera a 2/3 del origen, y la última. De esta forma se logran 16 puntos de medición”

El coeficiente de uniformidad se distingue con la siguiente expresión:

$$CU = \frac{q_{25}}{q_m} \times 100$$

Dónde:

q_{25} = caudal medio de los emisores que constituyen el 25 % que erogan el más bajo caudal

q_m = el caudal medio de una instalación de riego

5) Riego de los Cultivos

Riego en sistema presurizado para Cultivos de Banano y Maíz en sus respectivos tratamientos.

Para los tratamientos cuyo método para determinar la lámina de riego es con el modelo Penman-Monteith, la frecuencia de riego es diaria; previo cálculo de la evapotranspiración de referencia (Eto) a partir de los datos meteorológicos de Estación meteorológica portátil.

Para los tratamientos cuyo método para determinar la lámina de riego es con sensores de humedad del suelo, la frecuencia de riego dependerá de la lectura instantánea de la tensión del suelo en centibares. Se decidió aplicar riego cuando la lectura en los sensores a 30 cm supere los 60 cbar de tensión, teniendo en cuenta que el estado de capacidad de campo marca una lectura de 30 cbar.

Riego en sistema por gravedad para cultivos de Banano y Maíz en sus respectivos tratamientos.

Para los tratamientos cuyo método para determinar la lámina de riego es con el modelo Penman-Monteith, el riego se consideró el 40% de la Eto acumulada en una frecuencia asumida de 15 días como máximo.

Para los tratamientos cuyo método para determinar la lámina de riego es con sensores de humedad del suelo, el riego se considera de acuerdo a la lectura del sensor a 30 cm en el instante previo al riego.

La frecuencia real en estos tratamientos dependió de la disponibilidad hídrica en el sector de riego la cual variaba en rangos de 10 a 20 días.

6) *Recopilación de datos*

Datos meteorológicos históricos Estación Meteorológica Mallaes para calibración de sistemas de riego.

El proceso experimental se inició en setiembre, recopilando datos históricos de la Estación Mallaes, periodo 1972-2014, para calibración de los sistemas e iniciar el riego de una forma controlada.

Valores medios de parámetros meteorológicos Estación Mallaes

Periodo 1972 – 2014

Lat: 04° 51'

Long: 80° 44'

Alt: 45 msnm

Tabla 12. *Valores medio de parámetros meteorológicos Estación Mallaes*

MES	PP (mm)	T° Máx. (°C)	T° Mín. (°C)	HR (%)	Hr. Sol (Hr)	V. Viento (m/s)
Enero	4.24	33.5	21.52	66.51	6.23	3.16
Febrero	4.07	33.97	22.75	67.76	6.07	3.02
Marzo	7.82	33.96	22.49	68.97	6.82	2.33
Abril	4.11	33.02	21.24	69.64	7.02	2.27
Mayo	1.81	31.09	19.49	71.22	6.75	2.38
Junio	0.7	29.32	18.26	72.7	6.11	2.37
Julio	0.18	28.55	17.33	72.06	6.09	2.58
Agosto	0.28	28.91	17.03	72.25	6.79	2.88
Setiembre	0.31	29.82	17.11	70.3	7.21	3.16
Octubre	0.43	30.33	17.57	70.04	7.28	2.97
Noviembre	0.63	31.01	18.19	69.68	7.34	3.12
Diciembre	2.7	32.24	19.74	68.26	6.95	3.34

Fuente: PECHP

Datos en estación meteorológica portátil.

Descarga manual de datos una vez por día, teniendo en cuenta que estos datos se almacenan cada media hora, se considerará para el Modelo Penman-Monteith el rango de 24 horas, 7am-7am.

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	Hi Speed	Hi Dir	Wind Chill	Heat Index	THW Index	THSW Index	Bar	Rain
22/02/19	3:00	24.8	25.0	24.8	79	20.9	0.0	---	0.00	0.0	---	24.8	26.4	26.4	25.4	1002.5	0.00
22/02/19	3:30	24.7	24.8	24.7	82	21.4	0.0	---	0.00	0.0	---	24.7	26.4	26.4	25.5	1002.5	0.00
22/02/19	4:00	24.4	24.7	24.4	83	21.4	0.0	---	0.00	0.0	---	24.4	26.2	26.2	25.3	1002.5	0.00
22/02/19	4:30	24.3	24.4	24.3	84	21.5	0.0	---	0.00	0.0	---	24.3	26.1	26.1	25.2	1002.8	0.00
22/02/19	5:00	24.1	24.3	24.1	85	21.4	0.0	---	0.00	0.0	---	24.1	25.8	25.8	24.9	1003.0	0.00
22/02/19	5:30	23.8	24.1	23.8	87	21.5	0.0	---	0.00	0.0	---	23.8	25.6	25.6	24.7	1003.0	0.00
22/02/19	6:00	23.7	23.8	23.7	87	21.4	0.0	---	0.00	0.0	---	23.7	25.2	25.2	24.3	1003.2	0.00
22/02/19	6:30	23.6	23.7	23.6	88	21.5	0.0	---	0.00	0.0	---	23.6	25.1	25.1	24.2	1003.5	0.00
22/02/19	7:00	23.7	23.7	23.5	89	21.8	0.0	---	0.00	0.0	---	23.7	25.4	25.4	24.7	1003.8	0.00
22/02/19	7:30	23.9	23.9	23.7	89	22.0	0.0	---	0.00	0.0	---	23.9	25.8	25.8	25.5	1004.2	0.00

Figura 8. Datos registrados en estación meteorológica Vantage Pro 2 (Elaboración propia)

Datos de sensor de humedad del suelo.

Diariamente y previo al riego se observó en monitor o en el lector manual, la lectura instantánea de humedad del suelo en centibares.



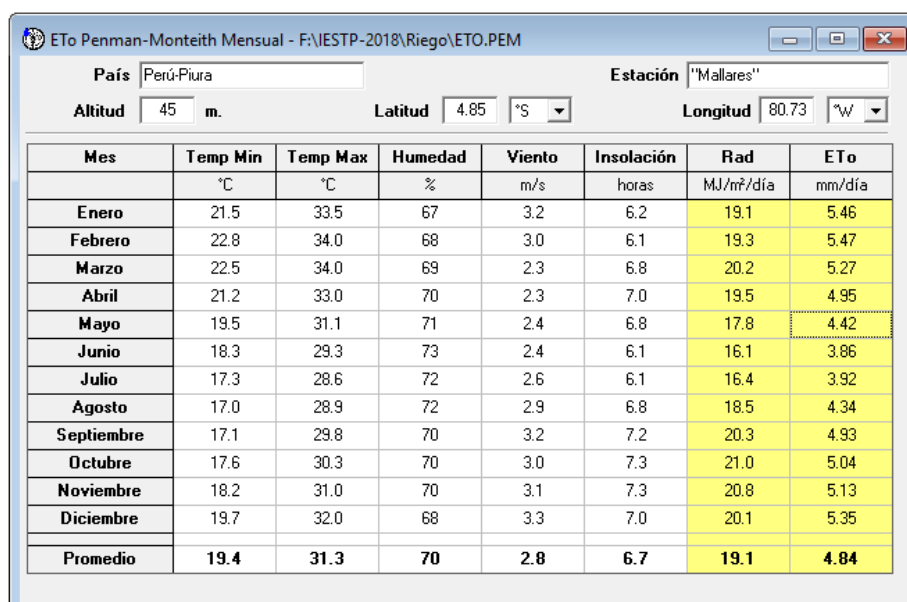
Figura 9. Monitor Watermark

3.5.2. Trabajo de Gabinete

1) Diseño Agronómico

Datos meteorológicos con Software “Cropwat” y programación en libro Excel diseñada únicamente para el proyecto.

El software Cropwat validado por la FAO, utiliza el método de Penman Monteith dónde se insertan los datos meteorológicos de temperaturas medias máximas y mínimas, humedad relativa, velocidad del viento y horas de sol promedio en un rango de 24 horas; y obtener así la evapotranspiración de referencia (Eto).



ETo Penman-Monteith Mensual - F:\IESTP-2018\Riego\ETO.PEM

País: Perú-Piura Estación: "Mallares"

Altitud: 45 m. Latitud: 4.85 °S Longitud: 80.73 °W

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	21.5	33.5	67	3.2	6.2	19.1	5.46
Febrero	22.8	34.0	68	3.0	6.1	19.3	5.47
Marzo	22.5	34.0	69	2.3	6.8	20.2	5.27
Abril	21.2	33.0	70	2.3	7.0	19.5	4.95
Mayo	19.5	31.1	71	2.4	6.8	17.8	4.42
Junio	18.3	29.3	73	2.4	6.1	16.1	3.86
Julio	17.3	28.6	72	2.6	6.1	16.4	3.92
Agosto	17.0	28.9	72	2.9	6.8	18.5	4.34
Septiembre	17.1	29.8	70	3.2	7.2	20.3	4.93
Octubre	17.6	30.3	70	3.0	7.3	21.0	5.04
Noviembre	18.2	31.0	70	3.1	7.3	20.8	5.13
Diciembre	19.7	32.0	68	3.3	7.0	20.1	5.35
Promedio	19.4	31.3	70	2.8	6.7	19.1	4.84

Figura 10. Software Cropwat para cálculo de Eto con datos históricos (Elaboración propia)

Posteriormente con el valor obtenido de evapotranspiración de referencia (Eto), se procedió a calcular la lámina y tiempo de riego, teniendo en cuenta la edad, coeficiente de cultivo (Kc), y la eficiencia del sistema de riego.

Necesidades netas del cultivo

$$Nn = Etc = Eto * kc$$

Donde:

- Etc: Evapotranspiración del cultivo (mm)
- Eto: Evapotranspiración de referencia (mm)
- Kc: factor de cultivo

Necesidades brutas del cultivo

$$Nb = \frac{Nn}{Ea}$$

Donde:

- Nb: Necesidades brutas del cultivo (mm)
- Nn: Necesidades netas del cultivo (mm)
- Ea: Eficiencia de aplicación

Volumen unitario por planta

$$Vu = Nb * mp * Aac$$

Donde:

- Vu: Volumen unitario (lt/planta)
- mp: Marco de plantación (m²)
- Aac: Área asignada al cultivo (%)

Tiempo de riego

$$Tr_g = \frac{Vu}{q} \quad \text{ó} \quad Tr_m = \frac{Nb}{Pms}$$

Donde:

- Tr: Tiempo de riego para goteo (Tr_g) y microaspersión (Tr_m). (horas)
- Ea: Eficiencia de aplicación
- q: Caudal del emisor (l/hr)
- Pms: Pluviosidad media del sistema (mm)

Para el cultivo de banano, se tomó en cuenta el Kc máximo para el periodo vegetativo, cuyo valor es 1.1; mientras que, para el cultivo de maíz, se tomó el Kc para un periodo de desarrollo de 140 días, establecidos por la FAO. Una eficiencia en el sistema calculada a partir del ensayo de coeficiente de uniformidad de 3 fases diferentes (ensayo mensual), a excepción del mes de setiembre donde se consideró la Eto a partir de datos históricos de estación Mallares hasta el año 2014 y una eficiencia de 90% para calibración de los sistemas.

Datos de humedad el suelo expresado en unidades de tensión para determinar la lámina de riego teniendo en cuenta la curva de retención de humedad.

Mediante la ecuación obtenida del ensayo de humedad del suelo, se calcula el porcentaje de humedad para ese instante, el cual se consideró como punto de marchitez permanente PMP.

Posteriormente se obtiene la lámina neta de riego con la siguiente ecuación:

$$Nn = \frac{CC - PMP}{100} * da * z$$

Donde:

- Nn: Necesidades netas (mm)
- CC: capacidad de campo
- PMP: punto de marchitez (se considera la lectura obtenida antes del riego)
- da: densidad aparente
- z: profundidad de raíces

Necesidades brutas del cultivo

$$Nb = \frac{Nn}{Ea}$$

Donde:

- Nb: Necesidades brutas del cultivo (mm)

- Ea: Eficiencia de aplicación

Tiempo de riego

$$Tr_g = \frac{Vu}{q} \quad \text{ó} \quad Tr_m = \frac{Nb}{Pms}$$

Donde:

- Tr: Tiempo de riego para goteo (Tr_g) y microaspersión (Tr_m). (horas)
- Ea: Eficiencia de aplicación
- q: Caudal del emisor (l/hr)
- Pms: Pluviosidad media del sistema (mm)

Para el riego en los tratamientos, tanto en cultivo de banano y maíz, se consideró un límite permisible en la tensión de 60 cbar, teniendo en cuenta que el cultivo debe permanecer en un estado de capacidad de campo con una lectura de 30 cbar, logrando una frecuencia de riego promedio de 3 días.

2) *Análisis estadístico “t de Student”*

La comparación de medias partirá de las siguientes hipótesis

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Donde μ_1 y μ_2 son las medias poblacionales de las láminas de riego aplicadas por tratamiento en cada cultivo.

Las expresiones explícitas que pueden ser utilizadas para obtener varias pruebas t se dan a continuación. En cada caso, se muestra la fórmula para una prueba estadística que o bien siga exactamente o aproxime a una distribución “t” de Student bajo la hipótesis nula. Además, se dan los apropiados grados de libertad en cada caso. Cada una de estas estadísticas se pueden utilizar para llevar a cabo ya sea una prueba de una cola o prueba de dos colas.

- Iguales tamaños muestrales e iguales varianzas el estadístico “t” a probar si las medias son diferentes se puede calcular de la siguiente forma:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p * \sqrt{\frac{2}{n}}}$$

Donde:

$$S_p = \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{2}}$$

es la desviación estándar combinada, 1 = grupo uno, 2 = grupo 2. El denominador de “t” es el error estándar de la diferencia entre las dos medias.

Por prueba de significancia, los grados de libertad de esta prueba se obtienen como $2n - 2$ donde n es el número de participantes en cada grupo o media poblacional.

- Diferentes tamaños muestrales e iguales varianzas. Esta prueba se puede utilizar únicamente asumiendo que las dos distribuciones poseen la misma varianza. El estadístico “t” si las medias son diferentes puede ser calculado como sigue:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p * \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Donde:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Nótese que las fórmulas de arriba, son generalizaciones cuando ambas muestras poseen igual tamaño (sustituyendo n por n1 y n2).

- Diferentes tamaños muestrales y diferentes varianzas. Esta prueba es utilizada únicamente cuando se asume que las dos varianzas poblacionales son diferentes (los tamaños muestrales pueden o no ser iguales), y por lo tanto deben ser estimadas por separado. El estadístico “t” a probar cuando las medias poblacionales son distintas, puede ser calculado.

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p}$$

Donde:

$$S_p = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$$

Aquí S² es el estimador sin sesgo de la varianza de las dos muestras, n = número de participantes, 1 = grupo uno, 2 = grupo dos. Nótese S_p no es la varianza combinada.

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

- Computadora
- Software:
 - Microsoft Office (Excel y Word)
 - CROPWAT (Cálculo de ETo)
 - Waterlink (Visualización y descarga de datos de Estación Meteorológica portátil)
 - Watermark (Visualización y descarga de datos de Sensores de Humedad del suelo)
 - IBM SPSS Statistics 22, para análisis estadístico.
 - ArcGIS 10.3, Google Earth Pro, Global Mapper.
- Cilindro infiltrómetro para ensayo de velocidad de infiltración
- Balanza, para ensayo de humedad del suelo y rendimiento del maíz.
- Barreno y estufa para ensayo de humedad del suelo.
- Estación meteorológica Mallares y Estación meteorológica Portátil.
- Sensores de humedad y tensiómetros.
- Lector manual Watermak.
- Libretas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Caracterización de suelo y calidad de agua

a. Caracterización de suelo

Tabla 13: *Resultados de Análisis de suelo*

Determinaciones	Valor
Textura:	Franco Arcilloso
% Arena:	30.00
% Limo:	35.00
% Arcilla:	35.00
%Materia Orgánica:	0.28

Elaboración propia

Del análisis en el laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Piura, se obtuvo una textura Franco Arcilloso, moderadamente fino; con 30 % de arena e iguales proporciones de arcilla y limo.

b. Calidad de agua

Tabla 14: *Resultados de Análisis de agua*

Determinación	Valor
Dureza (ppm):	110.00
Conductividad (mS/cm):	0.33
Sólidos Totales Disueltos (ppm):	215.30
PH:	7.13

Elaboración propia

Los resultados del análisis de agua presentados en la **Tabla 13**, con valores de dureza, conductividad y sólidos totales dentro de los rangos permitidos y un PH ideal, confirmaron que la fuente es ideal para uso agrícola en riego.

4.1.2. Prueba de Infiltración del suelo

a. Suelo ya cultivado

Infiltración acumulada

Tabla 15. *Infiltración acumulada en suelo cultivado*

Nº	Tiempo (min)	Lámina (mm)	X=Log T	Y=Log L	X * Y	X ²	Y ²
1	5	0.2	0.6990	-0.6990	-0.4886	0.4886	0.4886
2	10	0.4	1.0000	-0.3979	-0.3979	1.0000	0.1584
3	15	0.7	1.1761	-0.1549	-0.1822	1.3832	0.0240
4	20	1.1	1.3010	0.0414	0.0539	1.6927	0.0017
5	25	1.5	1.3979	0.1761	0.2462	1.9542	0.0310
6	30	1.7	1.4771	0.2304	0.3404	2.1819	0.0531
7	40	2	1.6021	0.3010	0.4823	2.5666	0.0906
8	50	2.3	1.6990	0.3617	0.6146	2.8865	0.1308
9	60	2.6	1.7782	0.4150	0.7379	3.1618	0.1722
10	90	3.4	1.9542	0.5315	1.0386	3.8191	0.2825
11	120	4.1	2.0792	0.6128	1.2741	4.3230	0.3755
SUMAS			16.1638	1.4181	3.7192	25.4575	1.8084

Elaboración propia.

$$B = \frac{11(3.719) - (16.164)(1.418)}{11(25.458) - (16.164)^2}$$

$$B = 0.958$$

$$A_0 = \frac{1.418}{11} - 0.958 \frac{16.164}{11}$$

$$A_0 = -1.28$$

$$A = 10^{-1.28} = 0.053$$

Finalmente, la ecuación de infiltración acumulada queda definida por:

$$I_{cum} = 0.053t_0^{0.958}$$

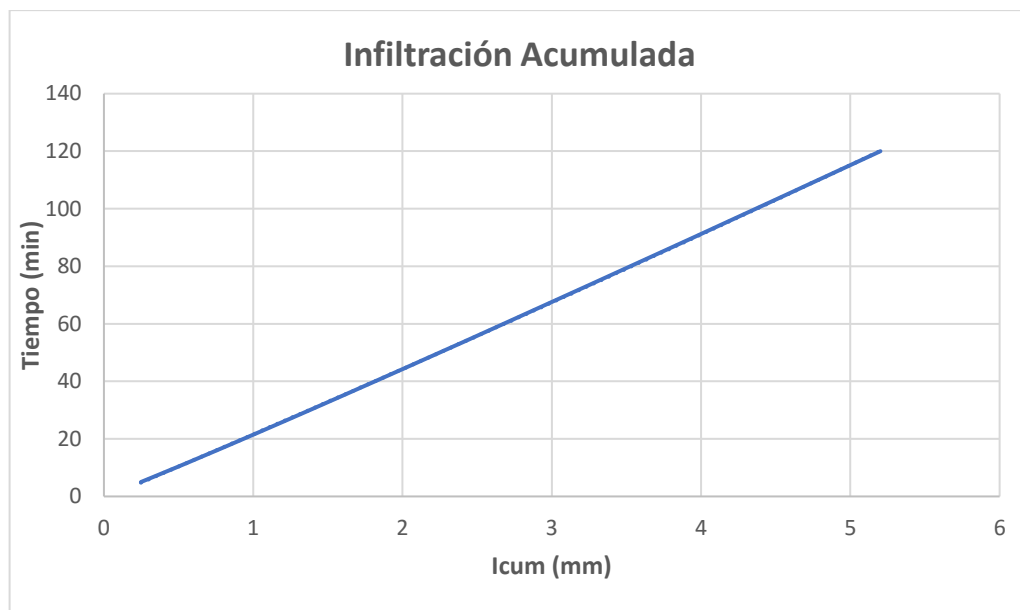


Gráfico 4. Infiltración acumulada para suelo cultivado (Elaboración propia)

Del Gráfico 4, se observa una infiltración acumulada máxima de 5.2 mm en 120 minutos, y existe un exceso de 1.1 mm con respecto al ensayo experimental en campo, dónde la infiltración acumulada máxima es de 4.1 mm.

Velocidad de Infiltración

Tabla 16. *Velocidad de infiltración para suelo cultivado*

Nº	Tiempo (min)	Velocidad Promedio	X=Log T	Y=Log L	X * Y	X ²	Y ²
1	5	2.40	0.6990	0.3802	0.2658	0.4886	0.1446
2	10	2.40	1.0000	0.3802	0.3802	1.0000	0.1446
3	15	2.80	1.1761	0.4472	0.5259	1.3832	0.2000
4	20	3.30	1.3010	0.5185	0.6746	1.6927	0.2689
5	25	3.60	1.3979	0.5563	0.7777	1.9542	0.3095
6	30	3.40	1.4771	0.5315	0.7851	2.1819	0.2825
7	40	3.00	1.6021	0.4771	0.7644	2.5666	0.2276
8	50	2.76	1.6990	0.4409	0.7491	2.8865	0.1944
9	60	2.60	1.7782	0.4150	0.7379	3.1618	0.1722
10	90	2.27	1.9542	0.3554	0.6945	3.8191	0.1263
11	120	2.05	2.0792	0.3118	0.6482	4.3230	0.0972
SUMAS			16.1638	4.8140	7.0033	25.4575	2.1676

Elaboración propia.

$$b = \frac{11(7.003) - (16.164)(4.814)}{11(25.458) - (16.164)^2}$$

$$b = -0.041$$

$$a_0 = \frac{4.814}{11} - (-0.041) \frac{16.164}{11}$$

$$a_0 = 0.498$$

$$a = 10^{0.498} = 3.151$$

Finalmente, la ecuación de velocidad de infiltración queda definida por:

$$i = 3.151 t_0^{-0.041}$$

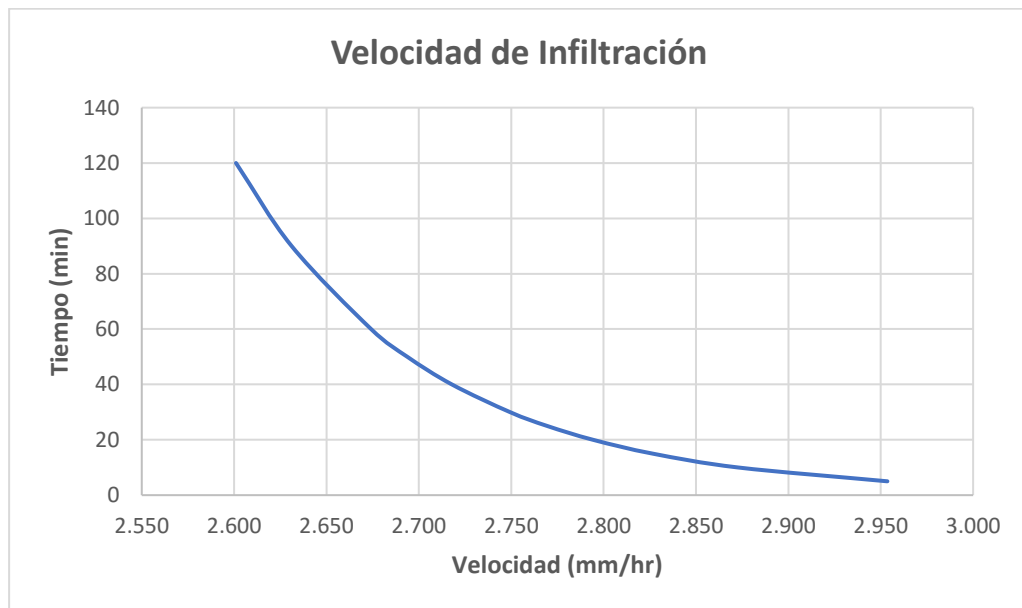


Gráfico 5. Velocidad de infiltración para suelo cultivado (Elaboración propia)

De la ecuación de velocidad de infiltración y del Gráfico 5, se tienen valores entre 2.6 mm/hr y 2.95 mm/hr; dónde la velocidad es inversamente proporcional al tiempo.

b. Suelo sin cultivar

Infiltración acumulada

Tabla 17. *Infiltración acumulada para suelo desnudo*

Nº	Tiempo (min)	Lámina (mm)	X=Log T	Y=Log L	X * Y	X ²	Y ²
1	5	2.5	0.699	0.398	0.278	0.489	0.158
2	10	3.6	1.000	0.556	0.556	1.000	0.309
3	15	4.7	1.176	0.672	0.790	1.383	0.452
4	20	5.3	1.301	0.724	0.942	1.693	0.525
5	25	5.9	1.398	0.771	1.078	1.954	0.594
6	30	6.5	1.477	0.813	1.201	2.182	0.661
7	40	7.8	1.602	0.892	1.429	2.567	0.796
8	50	9.1	1.699	0.959	1.629	2.886	0.920
9	60	10.6	1.778	1.025	1.823	3.162	1.051
10	90	13.4	1.954	1.127	2.203	3.819	1.270
11	120	15.8	2.079	1.199	2.492	4.323	1.437
SUMAS			16.164	9.137	14.422	25.458	8.173

Elaboración propia.

$$B = \frac{11(3.719) - (16.164)(1.418)}{11(25.458) - (16.164)^2}$$

$$B = 0.584$$

$$A_0 = \frac{1.418}{11} - 0.958 \frac{16.164}{11}$$

$$A_0 = -0.028$$

$$A = 10^{-1.28} = 0.938$$

Finalmente, la ecuación de infiltración acumulada queda definida por:

$$I_{cum} = 0.938 t_0^{0.584}$$

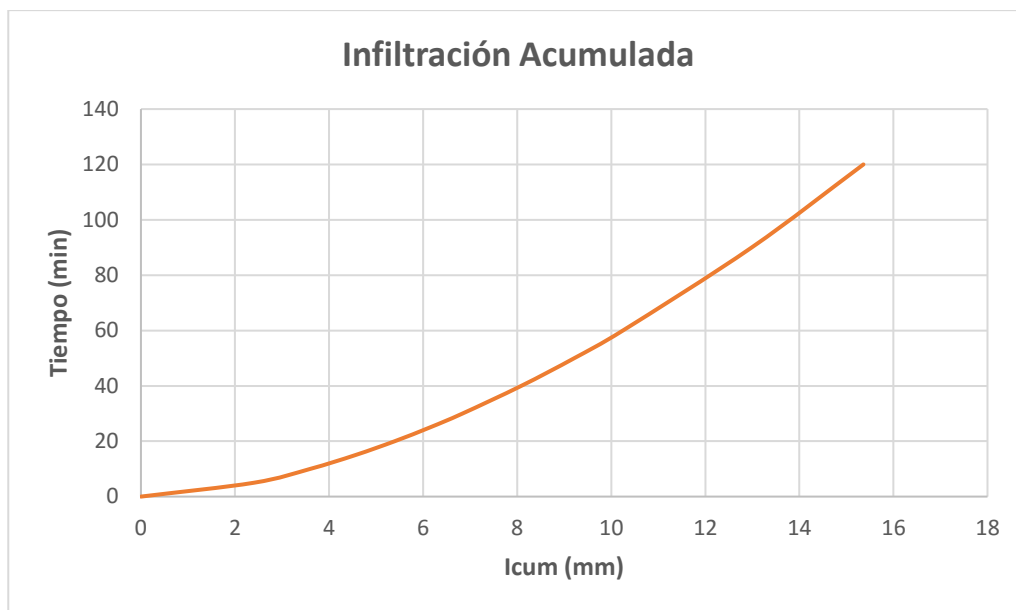


Gráfico 6. Infiltración acumulada para suelo desnudo (Elaboración propia)

Del Gráfico 6, se observa una infiltración acumulada máxima de 15.3 mm en 120 minutos, y existe un déficit de 0.5 mm con respecto al ensayo experimental en campo, donde la infiltración acumulada máxima alcanzó 15.8 mm.

Velocidad de Infiltración

Tabla 18. Velocidad de infiltración para suelo desnudo

Nº	Tiempo (min)	Velocidad Promedio	X=Log T	Y=Log L	X * Y	X ²	Y ²
1	5	30.00	0.699	1.477	1.032	0.489	2.182
2	10	21.60	1.000	1.334	1.334	1.000	1.781
3	15	18.80	1.176	1.274	1.499	1.383	1.623
4	20	15.90	1.301	1.201	1.563	1.693	1.443
5	25	14.16	1.398	1.151	1.609	1.954	1.325
6	30	13.00	1.477	1.114	1.645	2.182	1.241
7	40	11.70	1.602	1.068	1.711	2.567	1.141
8	50	10.92	1.699	1.038	1.764	2.886	1.078
9	60	10.60	1.778	1.025	1.823	3.162	1.051
10	90	8.93	1.954	0.951	1.859	3.819	0.904
11	120	7.90	2.079	0.898	1.866	4.323	0.806
SUMAS			16.164	12.532	17.706	25.458	14.576

Elaboración propia.

$$b = \frac{11(7.003) - (16.164)(4.814)}{11(25.458) - (16.164)^2}$$

$$b = -0.416$$

$$a_0 = \frac{4.814}{11} - (-0.041) \frac{16.164}{11}$$

$$a_0 = 1.75$$

$$a = 10^{0.498} = 56.281$$

Finalmente, la ecuación de velocidad de infiltración queda definida por:

$$i = 56.281t_0^{-0.416}$$

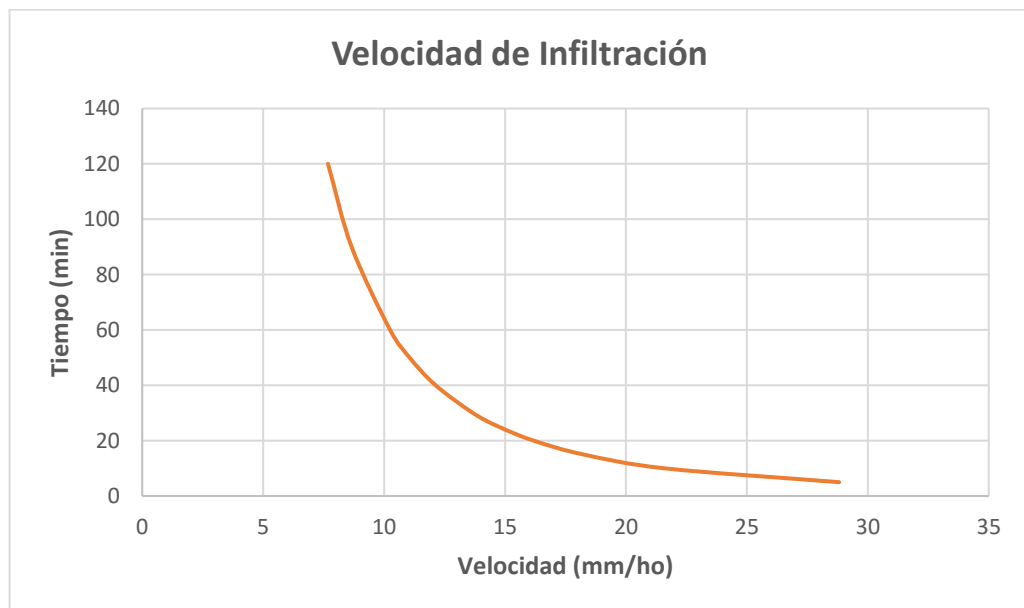


Gráfico 7. Velocidad de infiltración para suelo desnudo (Elaboración propia)

De la ecuación de velocidad de infiltración y del Gráfico 5, se tienen valores entre 2.6 mm/hr y 2.95 mm/hr; dónde la velocidad es inversamente proporcional al tiempo.

Se nota una clara diferencia entre la infiltración, dónde en suelo desnudo es hasta 3 veces mayor a la infiltración en suelo con cultivo permanente; esto debido a la condición de humedad previa, dónde el suelo destinado para el maíz no se le aplicaba riego por más de un año.

4.1.3. Ensayo de humedad del suelo

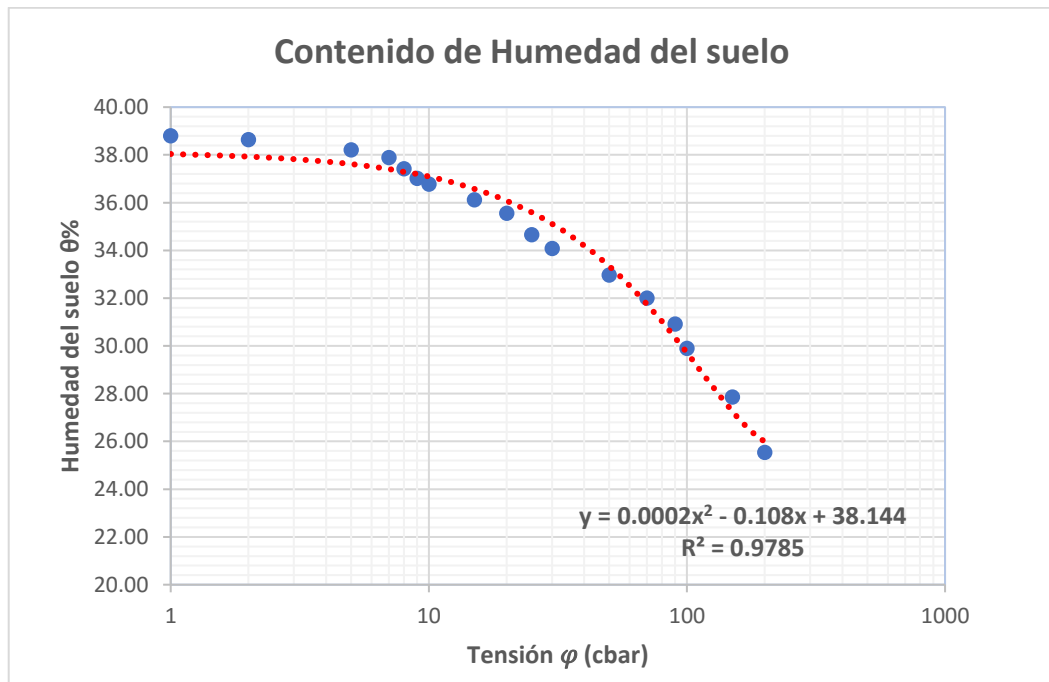


Gráfico 8. Curva y ecuación de humedad del suelo (Elaboración propia)

Ecuación de Humedad:

$$\theta = 0.0002\phi^2 - 0.108\phi + 38.144$$

Donde:

θ = Contenido de humedad (%)

ϕ = Tensión del suelo (cbar)

De los resultados del ensayo y la obtención de la curva de humedad presentada en el Gráfico 8, se tiene un valor de saturación del suelo de 38.14 % a 0 cbar, y un valor asumido en capacidad de campo (30 cbar) de 35.08 % de contenido de humedad.

La ecuación y curva de humedad del suelo es característica para el suelo de las áreas experimentales en estudio; para otros tipos de suelo, es necesario realizar nuevo ensayo de humedad del suelo.

4.1.4. Coeficiente de uniformidad para sistema de riego presurizado

- a. Coeficiente de uniformidad del sistema de riego por microaspersión, a una presión de trabajo de 2 bar.

Se presentan los resultados de los caudales unitarios de los emisores evaluados.

Coeficiente de uniformidad (CU)

Primer Ensayo

Tabla 19. *Coeficiente de Uniformidad para sistema por microaspersión, 1° ensayo*

	LINEA 1	LINEA 2	LINEA 3	LINEA 4
INICIO	40.60	40.60	40.60	40.60
MEDIO (1/4)	38.50	39.20	39.20	37.80
MEDIO (3/4)	35.00	35.70	36.40	33.60
FINAL	32.20	34.30	35.00	32.20
CU=	0.9041 = 90.41 %			

Elaboración propia.

Segundo Ensayo

Tabla 20. *Coeficiente de Uniformidad para sistema por microaspersión, 2° ensayo*

	LINEA 1	LINEA 2	LINEA 3	LINEA 4
INICIO	39.20	39.90	40.60	39.20
MEDIO (1/4)	37.80	37.80	38.50	37.10
MEDIO (3/4)	36.40	36.40	37.10	35.70
FINAL	32.20	32.90	34.30	31.50
CU=	0.8926 = 89.26 %			

Elaboración propia.

Tercer Ensayo

Tabla 21. *Coeficiente de Uniformidad para sistema por microaspersión, 3° ensayo*

	LINEA 1	LINEA 2	LINEA 3	LINEA 4
INICIO	38.50	39.20	39.90	38.50
MEDIO (1/4)	37.10	38.50	37.10	36.40
MEDIO (3/4)	35.00	35.70	37.10	34.30
FINAL	32.20	32.90	33.60	31.50
CU=	0.9018 = 90.18 %			

Elaboración propia.

De los ensayos de coeficiente de uniformidad en tres fases de acuerdo al periodo de desarrollo del cultivo, se determinó el coeficiente de uniformidad promedio:

$$\overline{CU} = 89.95 \%$$

Uniformidad de distribución

A partir de los valores obtenidos en el ensayo para determinar el coeficiente de uniformidad en el sistema de riego por goteo, encontrando los siguientes valores:

Tabla 22. *Uniformidad de distribución para sistema de riego por microaspersión*

Uniformidad de Distribución		
Primer Ensayo	0.8708	87.08%
Segundo Ensayo	0.8556	85.56%
Tercer Ensayo	0.8677	86.77%

Elaboración propia

Teniendo caudales promedio en los emisores de 36.97 l/hr, 36.66 l/hr y 36.09 l/hr en el primer, segundo y tercer ensayo respectivamente.

- b. Coeficiente de uniformidad del sistema de riego por goteo, a una presión de trabajo de 1 bar.

Se presentan los resultados de los caudales unitarios de los emisores evaluados.

Coeficiente de uniformidad (CU)

Primer Ensayo

Tabla 23. *Coeficiente de Uniformidad para sistema por goteo, fase inicial*

CAUDAL (lt/h)				
	LINEA 1	LINEA 2	LINEA 3	LINEA 4
INICIO	1.39	1.41	1.42	1.39
MEDIO (1/4)	1.33	1.36	1.36	1.36
MEDIO (3/4)	1.32	1.32	1.33	1.30
FINAL	1.21	1.24	1.29	1.26
CU= 0.9388 = 93.88%				

Elaboración propia.

Segundo Ensayo

Tabla 24. *Coeficiente de Uniformidad para sistema por goteo, fase media*

CAUDAL (lt/h)				
	LINEA 1	LINEA 2	LINEA 3	LINEA 4
INICIO	1.36	1.41	1.41	1.38
MEDIO (1/4)	1.32	1.30	1.33	1.32
MEDIO (3/4)	1.30	1.29	1.29	1.32
FINAL	1.20	1.27	1.26	1.23
CU= 0.9450 = 94.50%				

Elaboración propia.

Tercer Ensayo

Tabla 25. *Coeficiente de Uniformidad para sistema por goteo, fase final*

CAUDAL (lt/h)				
	LINEA 1	LINEA 2	LINEA 3	LINEA 4
INICIO	1.36	1.39	1.41	1.39
MEDIO (1/4)	1.32	1.30	1.33	1.29
MEDIO (3/4)	1.29	1.29	1.30	1.27
FINAL	1.21	1.23	1.24	1.26
CU=	0.9462 = 94.62%			

Elaboración propia.

De los ensayos de coeficiente de uniformidad en tres fases de acuerdo al periodo de desarrollo del cultivo, se determinó el coeficiente de uniformidad promedio:

$$\overline{CU} = 94.33 \%$$

Uniformidad de distribución

A partir de los valores obtenidos en el ensayo, se determinó el coeficiente de uniformidad en el sistema de riego por goteo, encontrando los siguientes valores:

Tabla 26. *Uniformidad de distribución para sistema de riego por goteo*

Uniformidad de Distribución		
Primer Ensayo	0.9170	91.70%
Segundo Ensayo	0.9253	92.53%
Tercer Ensayo	0.9269	92.69%

Elaboración propia.

Teniendo caudales promedio en los emisores de 1.34 l/hr, 1.31 l/hr y 1.31 l/hr en el primer, segundo y tercer ensayo respectivamente.

4.1.5. Evapotranspiración de referencia (Eto)

Del procesamiento de datos de estación meteorológica en software Cropwat.

Tabla 27. *Evapotranspiración de referencia Eto mensual*

MES	Eto medio (mm)	Eto máx. (mm)	Eto mín. (mm)
Setiembre	4.93	4.93	4.93
Octubre	3.98	4.93	2.25
Noviembre	4.05	4.64	3.01
Diciembre	4.08	5.07	3.08
Enero	4.27	5.33	2.56
Febrero	3.98	5.05	2.86
Marzo	4.58	4.91	4.16

Elaboración propia.

Se presentan los valores medios, máximos y mínimos de evapotranspiración de referencia (Eto), calculados con el Software CROPWAT desde el mes de setiembre al mes de marzo. Cabe resaltar que el mes de setiembre presenta un valor único ya que fue calculado con datos históricos mensuales promedios, mientras que el resto de valores fueron calculados con datos diarios.

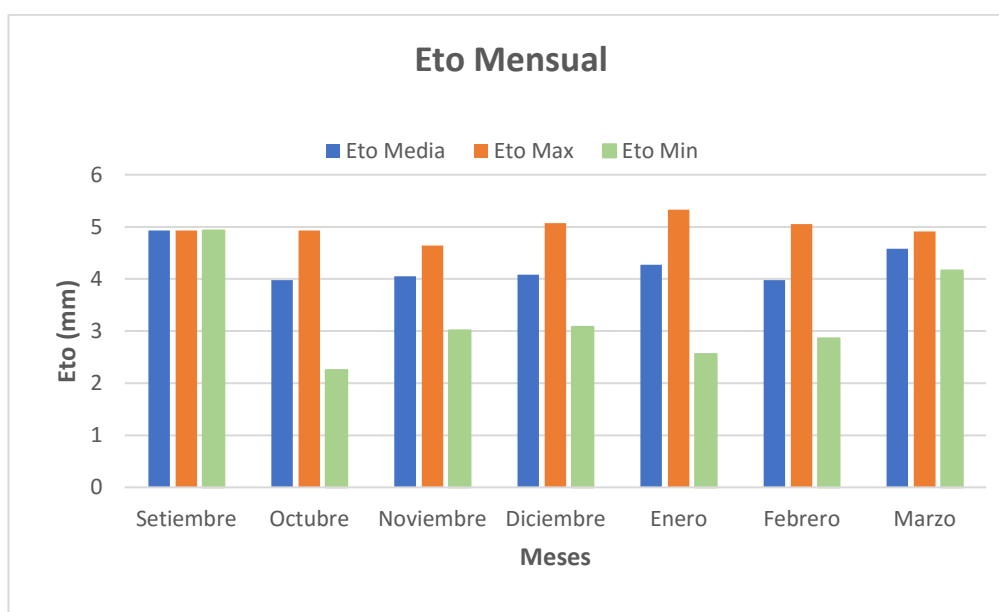


Gráfico 9. Evapotranspiración de referencia mensual (Elaboración propia)

4.1.6. Lámina y volumen de riego para cultivo de banano

1) Sistema de riego por gravedad

a. Cálculo con modelo Penman-Monteith

El criterio tomado para realizar estos riegos, se consideró solo el 60 % de la evapotranspiración de referencia en una frecuencia asumida de 15 días.

El consumo de agua por campaña para el cultivo, fue **21 960 m³/ha**,

Tabla 28. Lámina de riego mensual para banano en tratamiento S1M1

MES	Lr medio (mm)	Lr máx. (mm)	Lr mín. (mm)
Setiembre	100.00	100.00	100.00
Octubre	127.91	127.91	127.91
Noviembre	122.35	135.63	109.07
Diciembre	117.13	128.17	106.08
Enero	105.95	105.95	105.95
Febrero	102.84	102.84	102.84
Marzo	106.99	106.99	106.99

Elaboración propia.

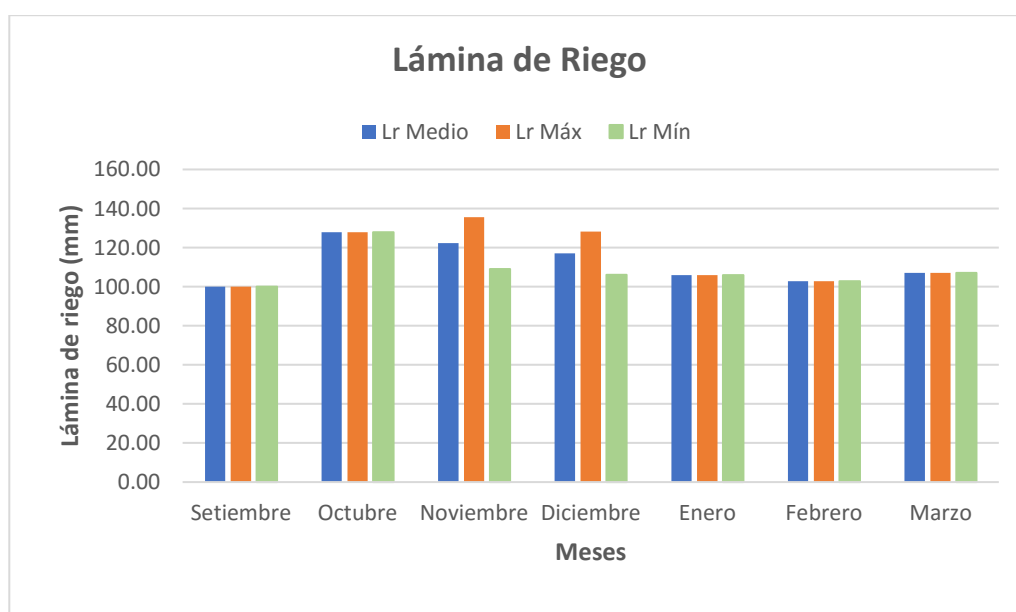


Gráfico 10. Consumo mensual para banano en tratamiento S1M1 (Elaboración propia)

b. Cálculo con sensor de humedad

Para el riego en este tratamiento se consideró para el cálculo, la lectura de tensión instantánea que coincidía con el turno de riego.

El consumo de agua por campaña para el cultivo fue **18 700 m³/ha**.

Tabla 29. *Lámina de riego mensual para banano en tratamiento SIM2*

MES	Lr medio (mm)	Lr máx. (mm)	Lr mín. (mm)
Setiembre	100.00	100.00	100.00
Octubre	95.98	95.98	95.98
Noviembre	85.28	101.31	69.24
Diciembre	95.56	99.13	91.99
Enero	97.59	97.59	97.59
Febrero	91.24	91.24	91.24
Marzo	98.75	98.75	98.75

Elaboración propia.

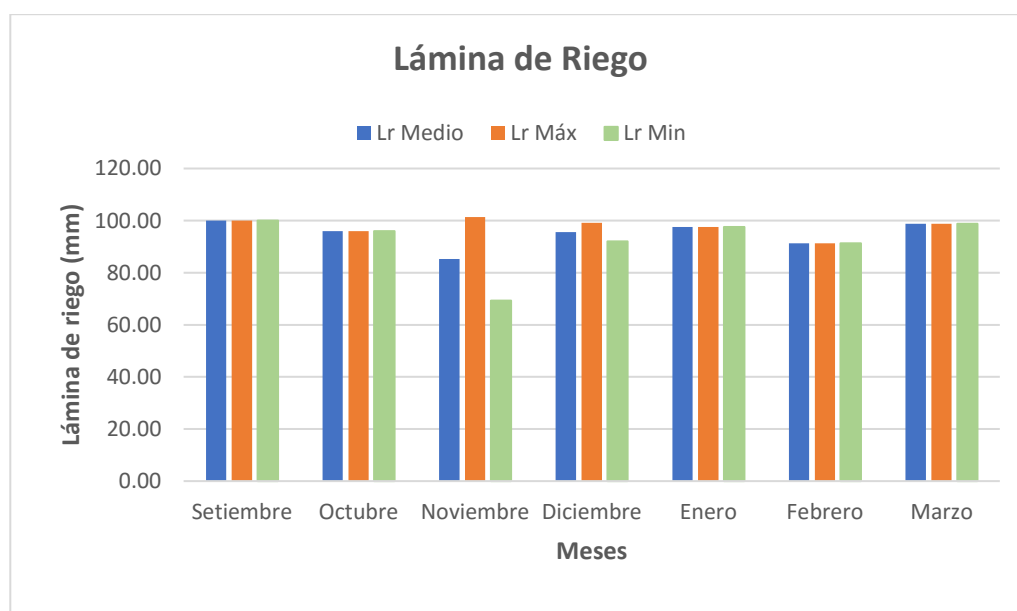


Gráfico 11. Consumo mensual para banano en tratamiento S2M2 (Elaboración propia)

2) Sistema de riego por microaspersión

a. Cálculo con modelo Penman-Monteith

El volumen de riego en toda la campaña ascendió a **18 860 m³/ha.**

Tabla 30. *Lámina de riego mensual para banano en tratamiento S2M1*

MES	Lr medio (mm/día)	Lr máx. (mm/día)	Lr min (mm/día)
Setiembre	6.38	6.38	6.38
Octubre	5.02	6.23	2.84
Noviembre	5.12	5.86	3.80
Diciembre	5.14	6.52	1.78
Enero	5.45	6.85	3.14
Febrero	4.30	6.40	2.17
Marzo	5.81	6.22	5.27

Elaboración propia.

En la Tabla 30 se muestra las láminas media mensual en mm/día con frecuencia diaria, durante todo el periodo de investigación

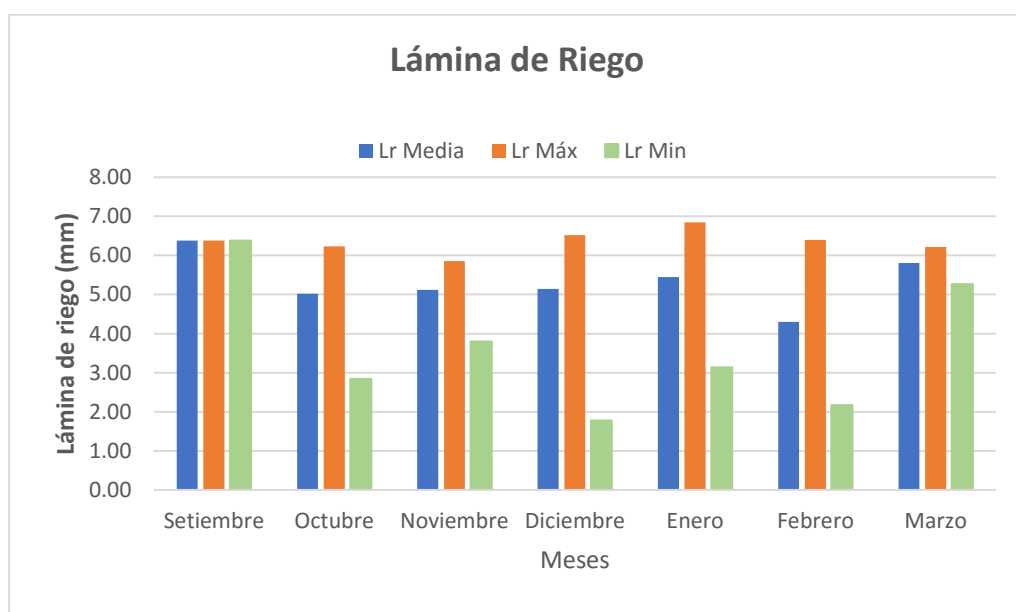


Gráfico 12. Consumo mensual para banano en tratamiento S2M1 (Elaboración propia)

b. Cálculo con sensor de humedad

Para el riego en este tratamiento se consideró un límite permisible en la tensión de 60 cbar, logrando una frecuencia de riego promedio de 3 días.

El volumen de riego en toda la campaña ascendió a **16 965 m³/ha**.

Tabla 31. *Lámina de riego mensual para banano en tratamiento S2M2*

MES	Lr medio (mm/día)	Lr máx. (mm/día)	Lr min (mm/día)
Setiembre	15.17	20.00	13.66
Octubre	13.80	14.49	13.34
Noviembre	13.84	14.49	13.34
Diciembre	14.04	14.74	13.57
Enero	14.18	14.74	13.57
Febrero	13.33	14.16	11.10
Marzo	13.65	14.16	13.02

Elaboración propia.

En la Tabla 31, se muestra las láminas medias, mínimas y máximas mensuales, con una frecuencia de 3 días entre riegos.

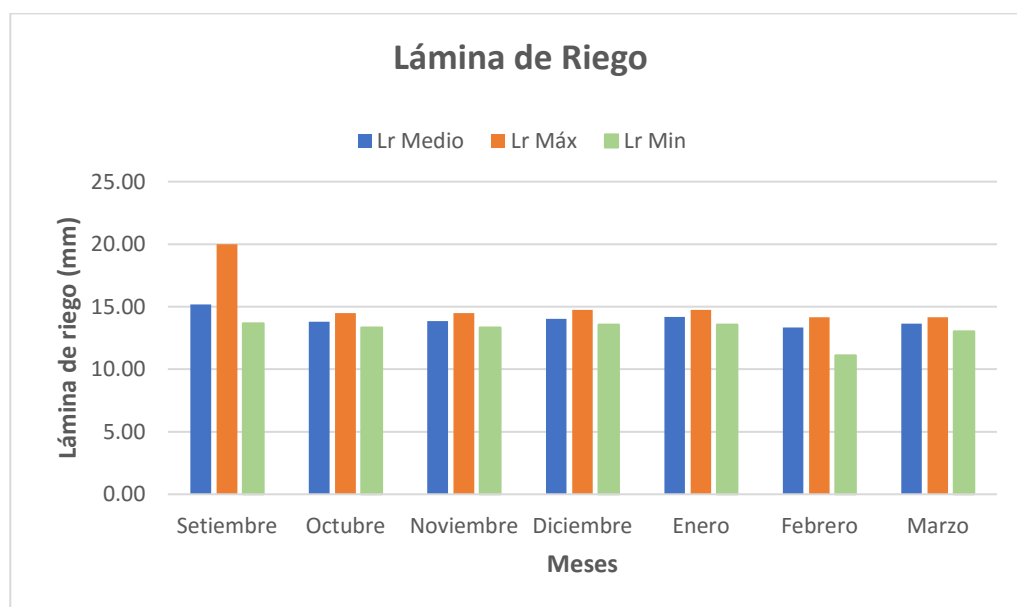


Gráfico 13. Consumo mensual para banano en tratamiento S2M2 (Elaboración propia)

4.1.7. Rendimiento en cultivo de banano

Rendimiento para el cultivo de banano evaluando 10 individuos en cada tratamiento.

Tabla 32. *Peso de racimos y rendimiento en cultivo de banano por tratamientos.*

Muestra	Gravedad Penman	Gravedad Sensor	Microaspersión Penman	Microaspersión Sensor
1	25.40	25.90	24.10	28.40
2	24.50	19.80	29.00	29.30
3	19.80	26.60	23.20	31.80
4	26.20	17.90	24.00	24.40
5	20.20	21.80	23.40	25.70
6	21.00	26.10	24.70	25.10
7	25.70	22.20	27.90	26.80
8	17.10	25.50	28.50	32.40
9	25.80	25.10	23.70	25.20
10	20.60	20.90	27.60	28.10
Promedio (kg)	22.63	23.18	25.61	27.72
Rendimiento (Tn/ha)	41.14	42.14	46.56	50.39

Elaboración propia.

El rendimiento combinando el uso de tecnologías, se alcanzó un rendimiento de 9.25 Tn/ha por encima del cálculo y riego convencional, lo que representa el 22.5% de aumento en la producción; donde el rendimiento más alto se dio en el tratamiento S2M2, alcanzando 50.39 Tn/ha y el rendimiento más bajo lo tuvo el tratamiento S1M1 con 41.14 Tn/ha. Obteniendo una ratio de 1.2 y 0.85 respectivamente, siendo estos, valores altos con respecto al ratio promedio en el valle.

4.1.8. Lámina y volumen de riego para cultivo de maíz

1) Sistema de riego por gravedad

a. Cálculo con modelo Penman-Monteith

Se consideró solo el 60 % de la evapotranspiración de referencia en una frecuencia asumida de 15 días. De esta manera, el consumo total de agua por parte del cultivo en este sistema, fue de **6 500 m³/ha**.

Tabla 33. Lámina de riego mensual para maíz en tratamiento S1M1

MES	Lr medio (mm)	Lr máx. (mm)	Lr mín (mm)
Setiembre	40.00	40.00	40.00
Octubre	43.17	43.17	43.17
Noviembre	71.96	80.05	63.87
Diciembre	126.07	136.16	115.97
Enero	170.00	170.00	170.00

Elaboración propia.

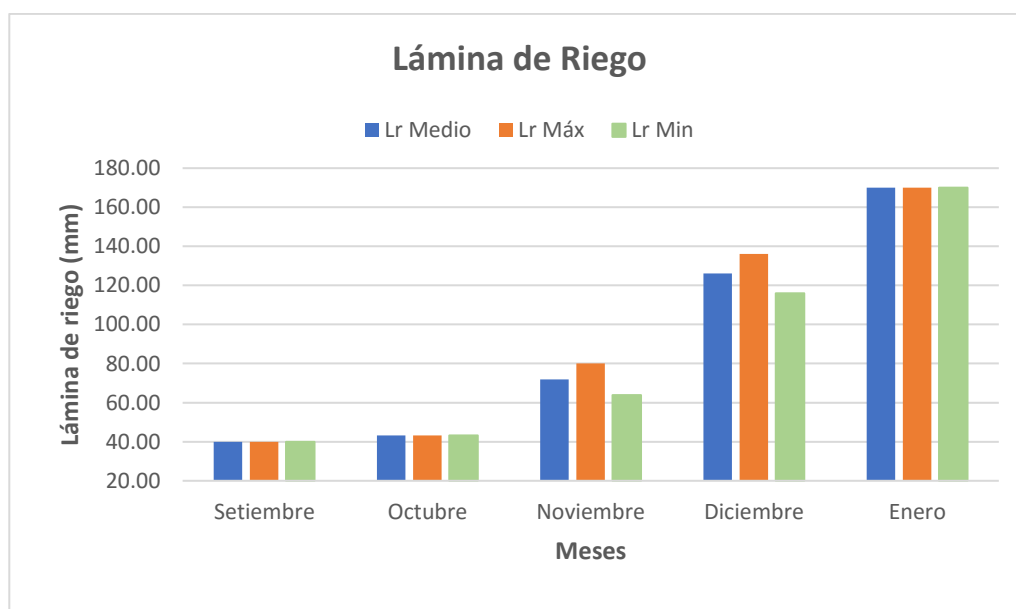


Gráfico 14. Consumo mensual para maíz en tratamiento S1M1 (Elaboración propia)

b. Cálculo con sensor de humedad

Para el riego en este tratamiento se consideró para el cálculo, la lectura de tensión instantánea que coincidía con el turno de riego.

El volumen de riego en toda la campaña ascendió a **4 600 m³/ha**.

Tabla 34. *Lámina de riego mensual para maíz en tratamiento SIM2*

MES	Lr medio (mm)	Lr máx. (mm)	Lr mín (mm)
Setiembre	60.00	60.00	60.00
Octubre	73.48	73.48	73.48
Noviembre	73.73	87.96	59.49
Diciembre	63.25	70.47	56.03
Enero	52.48	52.48	52.48

Elaboración propia.

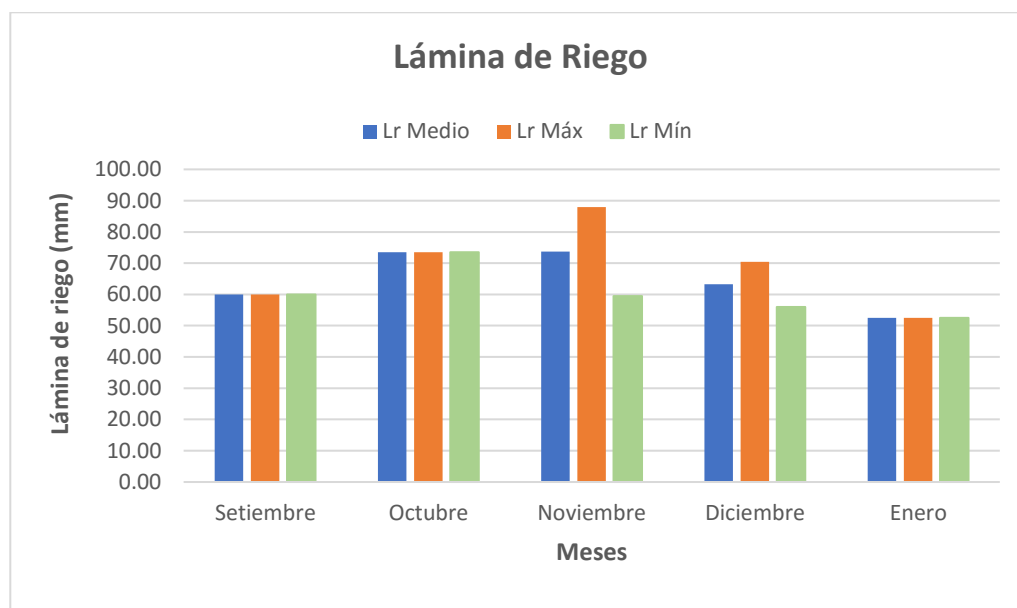


Gráfico 15. Consumo mensual para maíz en tratamiento S1M2 (Elaboración propia)

2) Sistema de riego por goteo

a. Cálculo con modelo Penman-Monteith

El volumen de riego en toda la campaña ascendió a **4 580 m³/ha**.

Tabla 35. *Lámina de riego mensual para maíz en tratamiento S3M1*

MES	Lr medio (mm/día)	Lr máx. (mm/día)	Lr min (mm/día)
Setiembre	1.64	1.64	1.64
Octubre	1.92	3.65	1.06
Noviembre	4.54	5.78	3.46
Diciembre	5.11	6.56	3.74
Enero	4.81	5.85	3.80

Elaboración propia.

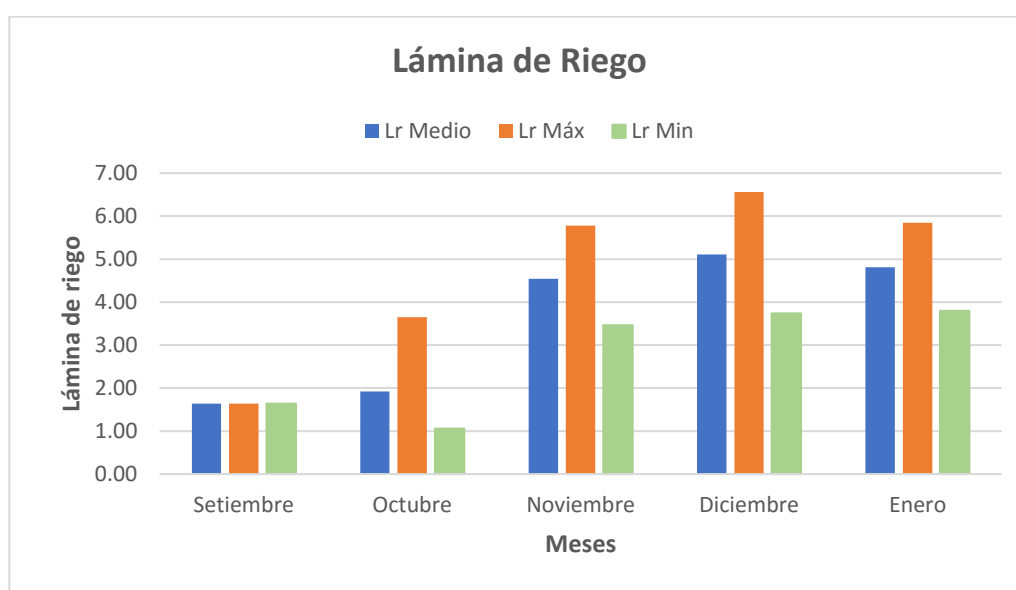


Gráfico 16. Consumo mensual para maíz en tratamiento S3M1 (Elaboración propia)

Se observa en el Gráfico 10 un aumento de la lámina de riego en los meses de noviembre y diciembre, esto debido a la variación en el coeficiente de cultivo para el periodo fenológico del maíz (aumenta de 0.3 a 1.1). Mientras que, en el mes de enero, el valor disminuye a 0.35.

b. Cálculo con sensor de humedad

Para el riego en este tratamiento se consideró un límite permisible en la tensión de 60 cbar, logrando una frecuencia de riego promedio de 3 días.

El volumen de riego en toda la campaña ascendió a **4 100 m³/ha**.

Tabla 36. *Lámina de riego mensual para maíz en tratamiento S3M2*

MES	Lr medio (mm/día)	Lr máx. (mm/día)	Lr min (mm/día)
Setiembre	9.88	10.24	9.46
Octubre	9.86	10.43	9.28
Noviembre	10.07	10.33	9.58
Diciembre	10.08	10.32	9.56
Enero	9.95	10.32	9.41

Elaboración propia.

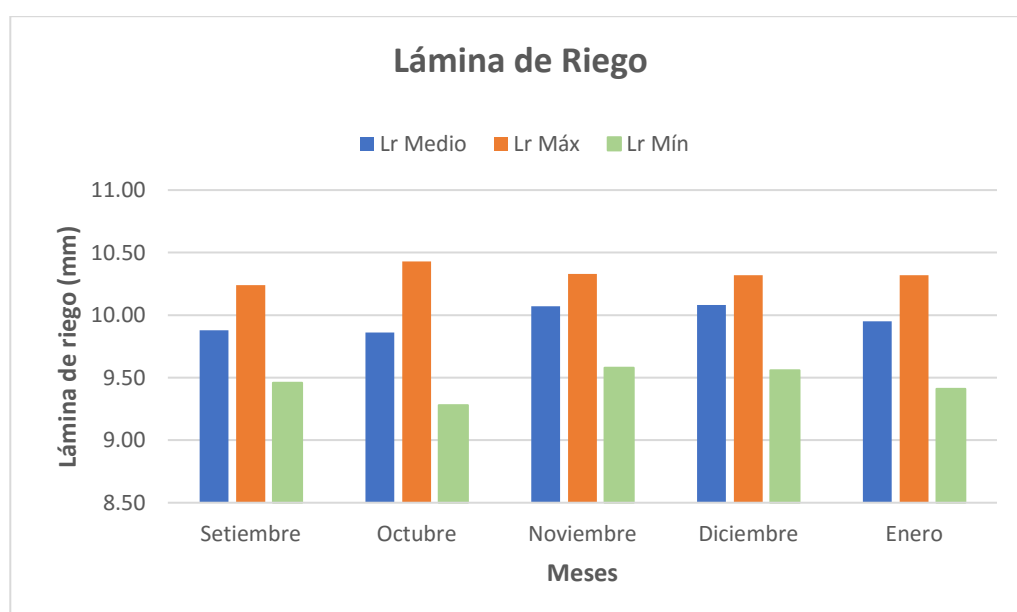


Gráfico 17. Consumo mensual para maíz en tratamiento S3M2 (Elaboración propia)

4.1.9. Rendimiento en cultivo de maíz

Para calcular el rendimiento del maíz (kg/ha), se consideró tomar muestras representativas de 10 plantas al azar, las cuales se evaluaron en cuanto a sus características de longitud de mazorca, peso de mazorca y peso de granos sin mazorca en 15% de humedad.

Estos resultados se proyectan de acuerdo a la densidad de siembra (0.4m x 0.6m) y se obtuvo los siguientes rendimientos:

1) *Rendimiento en sistema de riego por gravedad*

a. Tratamiento con modelo Penman-Monteith

Tabla 37. *Rendimiento en maíz, tratamiento S1M1*

Muestra	Longitud de mazorca (cm)	Peso de mazorca (gr)	Peso de granos sin mazorca(gr)
1	17.30	186.1	175.5
2	13.30	145.5	133.8
3	20.20	213.7	192.0
4	17.20	190.1	169.1
5	14.80	151.5	126.8
6	15.90	195.0	165.2
7	17.30	180.6	156.4
8	17.50	166.1	144.9
9	15.80	218.0	187.5
10	17.20	147.0	133.2
Promedio	16.65	179.36	158.44

Elaboración propia.

El rendimiento promedio en el tratamiento S1M1 fue de **5 941.50 kg/ha**

b. Tratamiento con sensor de humedad

Tabla 38. Rendimiento en maíz, tratamiento S1M2

Muestra	Longitud de mazorca (cm)	Peso de mazorca (gr)	Peso de granos sin mazorca (gr)
1	17.3	213	179.7
2	16.4	155.1	127.4
3	16	156.8	133.7
4	15.3	161.2	133.4
5	21.9	177.0	148.2
6	17.3	181.9	149.0
7	18.2	150.1	121.5
8	18.7	213.3	185.0
9	15.9	286.7	258.6
10	17.2	165.0	139.3
Promedio	17.42	186.01	157.58

Elaboración propia.

Rendimiento = 5 909.24 kg/ha

El rendimiento promedio en el tratamiento S1M1 fue de **5 909.24 kg/ha**

2) *Rendimiento en sistema de riego por goteo*

a. Tratamiento con modelo Penman-Monteith

Tabla 39. Rendimiento en maíz, tratamiento S3M1

Muestra	Longitud de mazorca (cm)	Peso de mazorca (gr)	Peso de granos sin mazorca (gr)
1	15.9	189.0	157.5
2	20.1	246.0	214.8
3	18.7	216.3	179.5
4	16.8	198.3	173.8
5	18.7	248.8	216.5
6	17.6	185.6	158.1
7	19.1	180.6	153.8
8	20.1	250.3	218.8
9	16.1	206.4	176.4
10	19.3	225.6	196.5
Promedio	18.24	214.69	184.57

Elaboración propia.

El rendimiento promedio en el tratamiento S3M1 fue de **6 921.36 kg/ha**

b. Tratamiento con sensor de humedad

Tabla 40. Rendimiento de maíz, tratamiento S3M2

Muestra	Longitud de mazorca (cm)	Peso de mazorca (gr)	Peso de granos sin mazorca (gr)
1	18.20	227.8	199.5
2	18.50	251.8	228.0
3	19.40	290.4	238.8
4	15.50	151.4	133.0
5	19.40	211.2	176.1
6	16.70	191.8	168.5
7	21.60	250.7	211.6
8	19.40	245.3	206.8
9	14.00	167.2	138.4
10	17.50	250.5	216.2
Promedio	18.02	223.81	191.69

Elaboración propia.

El rendimiento promedio en el tratamiento S3M2 fue de **7 188.36 kg/ha**

Se logró un incremento en la producción de maíz de 1 279 kg/ha al combinar tecnologías de riego presurizado y sensor de humedad del suelo. Donde la menor y mayor producción fueron 5 909 y 7 188 kg/ha respectivamente.

4.1.10. Análisis estadístico t de Student

1) Láminas de riego en cultivo de banano

a. Gravedad-Penman (S1M1) vs Gravedad-Sensor (S1M2)

H_0 : La lámina de riego aplicada en el tratamiento S1M1 es igual a la lámina aplicada en el tratamiento S1M2 ($\mu_1 = \mu_2$)

H_1 : La lámina de riego aplicada en el tratamiento S1M1 es diferente a la lámina aplicada en el tratamiento S1M2 ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Tabla 41. *Muestras de tratamientos S1M1 y S1M2 en banano*

	S1M1	S1M2
	100.00 mm	100.00 mm
	127.91 mm	95.98 mm
	122.35 mm	85.28 mm
	117.13 mm	95.56 mm
	105.95 mm	97.59 mm
	102.84 mm	91.24 mm
	106.99 mm	98.75 mm
Media:	111.88 mm	94.91 mm
Varianza:	112.68	25.93
n:	7	7

Elaboración propia.

$t_c = 3.813$ (t calculado)

$$t(2n - 2)gl; \frac{\alpha}{2}$$

$t = 2.179$ (valor crítico)

Decisión:

Como $t_c = 3.813$ E Rango de Aceptación $\rightarrow H_0$ no se acepta

Donde en la comparación de medias de ambos tratamientos, existe diferencia significativa, por lo tanto, se demuestra que, para el cultivo de banano, el uso de sensores de humedad en el tratamiento S1M2 es mejor que el tratamiento S1M1.

b. Microaspersión-Penman (S2M1) vs Microaspersión-Sensor (S2M2)

H_0 : La lámina de riego aplicada en el tratamiento S2M1 es igual a la lámina aplicada en el tratamiento S2M2 ($\mu_1 = \mu_2$)

H_1 : La lámina de riego aplicada en el tratamiento S2M1 es diferente a la lámina aplicada en el tratamiento S2M2 ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Tabla 42. *Muestras de tratamientos S2M1 y S2M2 en banano*

	S2M1	S2M2
	6.38 mm	5.06 mm
	5.02 mm	4.60 mm
	5.12 mm	4.61 mm
	5.14 mm	4.68 mm
	5.45 mm	4.73 mm
	4.30 mm	4.44 mm
	5.81 mm	4.55 mm
Media:	5.31 mm	4.66 mm
Varianza:	0.431	0.038
n:	7	7

Elaboración propia.

Para un mejor análisis, se dispuso a presentar en la Tabla 42, la lámina diaria del tratamiento S2M2 considerando la frecuencia de aplicación de la misma; dónde la lámina real es 3 veces mayor.

$t_c = 2.513$ (t calculado)

$$t(2n - 2)gl; \frac{\alpha}{2}$$

$t = 2.179$ (valor crítico)

Decisión:

Como $t_c = 2.513$ E Rango de Aceptación $\rightarrow H_0$ no se acepta

De la comparación de medias de ambos tratamientos, existe diferencia significativa, por lo tanto, se concluye que el uso de sensores de humedad del suelo en el tratamiento S2M2 evidencia una mejoría con respecto al tratamiento S2M1.

c. Gravedad (S1) vs Microaspersión (S2)

H_0 : La lámina de riego aplicada en los tratamientos S1 es igual a la lámina aplicada en los tratamientos S2 ($\mu_1 = \mu_2$)

H_1 : La lámina de riego aplicada en los tratamientos S1 es diferente a la lámina aplicada en los tratamientos S2 ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Tabla 43. *Muestras de tratamientos S1 y S2 en banano*

	S1	S2
	6.67 mm	6.38 mm
	8.53 mm	5.02 mm
	8.16 mm	5.12 mm
	7.81 mm	5.14 mm
	7.06 mm	5.45 mm
	6.86 mm	4.30 mm
	7.13 mm	5.81 mm
	6.67 mm	5.06 mm
	6.40 mm	4.60 mm
	5.69 mm	4.61 mm
	6.37 mm	4.68 mm
	6.51 mm	4.73 mm
	6.08 mm	4.44 mm
	6.58 mm	4.55 mm
Media:	7.45 mm	6.32 mm
Varianza:	0.629	0.330
n:	14	14

Elaboración propia.

$tc = 4.323$ (t calculado)

$$t(2n - 2)gl; \frac{\alpha}{2}$$

$t = 2.056$ (valor crítico)

Decisión:

Como $tc = 4.323$ E Rango de Aceptación $\rightarrow H_0$ no se acepta

Existe diferencia significativa, por lo tanto, la aplicación de tecnologías (sistema de riego presurizado y sensores de humedad) en los tratamientos para

banano S2M1 y S2M2, son mejores con respecto a los tratamientos S1M1 y S1M2.

2) Láminas de riego en cultivo de maíz

a. Gravedad-Penman (S1M1) vs Gravedad-Sensor (S1M2)

H0: La lámina de riego aplicada en el tratamiento S1M1 es igual a la lámina aplicada en el tratamiento S1M2 ($\mu_1 = \mu_2$)

H1: La lámina de riego aplicada en el tratamiento S1M1 es diferente a la lámina aplicada en el tratamiento S1M2 ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Tabla 44. Muestras de tratamientos S1M1 y S1M2 en maíz

	S1M1	S1M2
	40.00 mm	60.00 mm
	43.17 mm	73.48 mm
	71.96 mm	73.73 mm
	126.07 mm	63.25 mm
	170.00 mm	52.48 mm
Media:	90.24 mm	64.59 mm
Varianza:	3179.81	83.02
n:	5	5

Elaboración propia.

$t_c = 1.004$ (t calculado)

$$t(2n - 2)gl; \frac{\alpha}{2}$$

$t = 2.306$ (valor crítico)

Decisión:

Como $t_c = 1.004 \notin$ Rango de Aceptación $\rightarrow H_0$ no se rechaza

Donde en la comparación de medias de ambos tratamientos, no existe diferencia significativa, por lo tanto, los tratamientos S1M1 y S1M2 en cultivo de maíz son iguales.

b. Goteo-Penman (S3M1) vs Goteo-Sensor (S3M2)

H0: La lámina de riego aplicada en el tratamiento S3M1 es igual a la lámina aplicada en el tratamiento S3M2 ($\mu_1 = \mu_2$)

H1: La lámina de riego aplicada en el tratamiento S3M1 es diferente a la lámina aplicada en el tratamiento S3M2 ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Tabla 45. *Muestras de tratamientos S3M1 y S3M2 en maíz*

	S3M1	S3M2
	1.64 mm	3.29 mm
	1.92 mm	3.29 mm
	4.54 mm	3.36 mm
	5.11 mm	3.36 mm
	4.81 mm	3.32 mm
Media:	3.604mm	3.323mm
Varianza:	2.823	0.001
n:	5	5

Elaboración propia.

$$tc = 0.374 \text{ (t calculado)}$$

$$t(2n - 2)gl; \frac{\alpha}{2}$$

$$t = 2.306 \text{ (valor crítico)}$$

Decisión:

Como $tc = 0.374 \notin RA \rightarrow H_0$ no se rechaza

De comparación de medias de ambos tratamientos, no existe diferencia significativa, por lo tanto, no se pudo demostrar la influencia del uso de sensores de humedad en el tratamiento S3M2 con respecto al tratamiento S3M1.

c. Gravedad (S1) vs Goteo (S3)

H0: La lámina de riego aplicada en los tratamientos S1 es igual a la lámina aplicada en los tratamientos S3 ($\mu_1 = \mu_2$)

H1: La lámina de riego aplicada en los tratamientos S1 es diferente a la lámina aplicada en los tratamientos S3 ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Tabla 46. *Muestras de tratamientos S1 y S3 en maíz*

	S1	S3
	2.67 mm	1.64 mm
	2.88 mm	1.92 mm
	4.80 mm	4.54 mm
	8.40 mm	5.11 mm
	11.33 mm	4.81 mm
	4.00 mm	3.29 mm
	4.90 mm	3.29 mm
	4.92 mm	3.36 mm
	4.22 mm	3.36 mm
	3.50 mm	3.32 mm
Media:	5.161 mm	3.463 mm
Varianza:	7.257	1.277
n:	10	10

Elaboración propia.

$t_c = 0.728$ (t calculado)

$$t(2n - 2)_{gl}; \frac{\alpha}{2}$$

$t = 2.101$ (valor crítico)

Decisión:

Como $t_c = 0.728 \notin RA \rightarrow H_0$ no se rechaza

Donde en la comparación de medias de ambos tratamientos, no existe diferencia significativa, por lo tanto, los tratamientos correspondientes a S1 y S3 en cultivo de maíz, son estadísticamente iguales.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

–En el riego por microaspersión, para banano, el coeficiente de uniformidad promedio fue **89.95 %** y la eficiencia de aplicación **86.47 %**; trabajando con una presión de 2 bar y un caudal promedio del microaspersor de 41 lt/hr; lo que representa una alta eficiencia para el sistema.

–El coeficiente de uniformidad del riego por goteo, en la campaña de maíz fue **94.33 %** y la eficiencia de aplicación **92.31%**; trabajando con una presión de 1 bar y un caudal promedio de gotero de 1.4 lt/hr; lo que representa una alta eficiencia para el sistema.

–Para el cultivo de banano, el consumo de agua por parte del riego por microaspersión, representa **11.9%** por debajo del riego por gravedad. Donde el tratamiento Gravedad-Penman (S1M1) exigió una demanda por campaña de **21 960 m³/ha**, y el tratamiento Gravedad-Sensor (S1M2), demanda **18 700 m³/ha**, suponiendo un ahorro en el consumo de **14.8%**. Mientras que en el tratamiento Microaspersión-Penman (S2M1), exigió una demanda por campaña de **18 860 m³/ha**, y el tratamiento Microaspersión-Sensor (S2M2), una demanda de **16 965 m³/ha**, suponiendo un déficit del cálculo teórico de **10%**.

–Del estudio para el cultivo de maíz, el consumo de agua por goteo, representa **21.8%** por debajo del riego convencional por gravedad. Donde el tratamiento

Gravedad-Penman(S1M1) exigió una demanda por campaña de **6 500 m³/ha**, y el tratamiento Gravedad-Sensor(S1M2), demanda **4 600 m³/ha**, suponiendo un déficit del cálculo teórico de **29.2%**. Mientras que en el tratamiento Goteo-Penman (S3M1), exigió una demanda por campaña de **4 580 m³/ha**, y el tratamiento Goteo-Sensor(S3M2), una demanda de **4 100 m³/ha**, suponiendo un déficit del cálculo teórico de **10.5%**.

–El rendimiento para el cultivo de banano, el cultivo bajo riego presurizado alcanzó **16.4%** por encima de la producción del cultivo bajo riego convencional. En cuanto al riego por microaspersión, el tratamiento Microaspersión-Penman logró una producción de **46.56 tn/ha**, **8.2%** por debajo de la producción en el tratamiento Microaspersión-Sensor que alcanzó **50.40 tn/ha**. Para el riego convencional por gravedad, el tratamiento Gravedad-Penman alcanzó una producción de **41.15 tn/ha**, **2.4%** por debajo de la producción del tratamiento Gravedad-Sensor, cuya producción fue de **42.14 tn/ha**.

–El rendimiento para el cultivo de maíz, el cultivo bajo riego presurizado alcanzó **16%** por encima de la producción del cultivo bajo riego convencional. En cuanto al riego por goteo, el tratamiento Goteo-Penman logró una producción de **6.921 Tn/ha**, **4%** por debajo de la producción en el tratamiento Goteo-Sensor que alcanzó **7.188 Tn/ha**. Para el riego convencional por gravedad, el tratamiento Gravedad-Penman alcanzó una producción de **5.941 Tn/ha**, **0.5%** por encima de la producción del tratamiento Gravedad-Sensor, cuya producción fue de **5.909 Tn/ha**.

5.2. RECOMENDACIONES

- Impulsar proyectos de investigación, trabajando con otros cultivos importantes del valle.

- En los sistemas de riego presurizado, es necesario contar con equipos de medición y regulación (manómetros y válvulas individuales), para así llevar un control constante del correcto funcionamiento del sistema a lo largo de la producción.

- Iniciar un trabajo de sensibilización con la Junta de Usuarios Chira y Asociaciones de productores, para incorporar tecnologías que permitan mejorar la eficiencia del recurso hídrico y un aumento en la producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, Filho et al. (1995). Plantmaster de Banana. Principios Agronómicos, requerimientos de Suelo y Agua. Oslo.
- BLAIR Enrique (1979). III Seminario Latinoamericano sobre Riego por Goteo. San José-Costa Rica.
- CALVACHE U. Marcelo (2005). Evaluación del requerimiento de agua en el cultivo de rosas (Rosa sp) variedad “freedom” bajo invernadero. Otón – Pichincha. Ecuador
- CISNEROS A. Rodolfo (2003). Riego y Drenaje. Potosi. México
- CORREA B. Karla (2015). “Evaluación de la Evapotranspiración del cultivo de Banano (musa sp) utilizando la Ecuación de la FAO Penman-Monteith”. Ecuador
- DERAS F. Héctor (2010). Guía Técnica “El cultivo de Maíz”. El Salvador
- FAO. (2006). “Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”
- FAO. (2014). Atlas. In FAO. Atlas de Suelo de América Latina y El Caribe. Luxemburgo: Join Reserch center.
- FERNÁNDES D. Moisés; GARCÍA G. Guillermo. (2009). El sistema de riego localizado. España
- FERRANDIZ, J. (2017). “Estudio del manejo de agua de riego mediante sensores de humedad”. España
- GUROVICH R. Luis (1985) Fundamentos y diseños de sistemas de riego. IICA. Primera Edición.

- GUROVICH R. Luis. (1999). Riego Superficial Tecnificado. Alfaomega Grupo Editor. Segunda Edición. México.
- KELLER, J. y BLIESNER, R.D. (1990). Sprinkle and Trickle Irrigation. van Nostrand Reinhold., New York, Estados Unidos de América. 652 p.
- LAGUNAS A. Alba. (2013). Evaluación del manejo del riego por medio de sensores de humedad del suelo en un cultivo de tomate para industria. Navarra-España
- LIOTTA, Mario. (2000). Superficie cultivada con riego tradicional y presurizado en la Provincia de San Juan. Edición INTA San Juan. Mayo de 2000
- MARTÍN, Francisco y DE JUAN V., José (1993). Agronomía del riego. Madrid
- MEDINA R. Juvenal. (2005). Manual de operación y mantenimiento de un sistema de riego por goteo. PREDES editorial. Primera edición.
- MERRIAM, J. L. & J. KELLER: (1978). Evaluación del sistema de riego de granjas: una guía para la administración, EE. UU.
- MEZA O. Victoria. (2012). Suelos parcialmente saturados, de la investigación a la cátedra universitaria. Colombia.
- MONTAZAR. A And KOSARI H (2006). Water Productivity Analysis of Some Irrigated Crops In Iran, J Irrig Manage,
- ORTEGA F. Samuel. (2009). “Estimacion de la evapotranspiracion real diaria de un cultivo de tomates usando la Ecuacion de Penman-Monteith”. Chile
- PAYAN, S., MORALES, A., VALDEZ, B., MARTÍN, M., IBARRA, A. (2013). Programación del riego en vid (vitis vinifera l.) de mesa ‘perlette’ y ‘sugraone’ con sensores de humedad. México
- PECHP (2015). Actualización de los módulos y coeficientes de riego en los valles: Chira, Medio y Bajo Piura, por el método combinado de Penman Monteith. Perú

- ROBINSON, John y BOWER, John (1988). La transpiración de las hojas de banano en los subtrópicos en respuesta a factores diurnos y estacionales y alta demanda evaporativa. En: Guzmán, J.A. y Romero, R. Memorias de la IV Reunión sobre agrofisiología del banano. Costa Rica
- SANDOVAL, J. (2007). Principios de riego y drenaje. Facultad de Agronomía de la USAC, (4ta. Edición) Editorial Universitaria. Guatemala
- SOTO, Moisés. (2001). Bananos, técnicas de producción. San José- Costa Rica.
- TARJUELO, Martín (2005). El riego por aspersión y su tecnología. Editorial: S.A. MUNDI-PRENSA LIBRO. España
- VÁSQUEZ Absalón, Vásquez R. Issaak, Vásquez R. Cristian, Miguel Cañamero K. Miguel (2017). Fundamentos de Ingeniería de Riegos. Lima
- VILLABLANCA F. Alexis (2010). "Componentes de un cabezal de riego presurizado". Ministerio de Agricultura de Chile. Chile

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de Suelo y Agua

A. Análisis de Suelo

FACULTAD DE AGRONOMIA
Departamento de Edafología y Suelos

ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

Procedencia: **Mallares**

Solicitante: **CDFPBN**

Usuario: **Centro de Formación Profesional Binacional**


Fecha: **12/09/2018**

CULTIVO: **BANANO**

DETERMINACIONES	VALOR	NIVEL
pH (1:2.5)	8.21	Moderadamente alcalino
C.E. (dS/m)	0.96	Normal
Calcáreo (%CaCO ₃)	16.57	Alto
Materia orgánica (%)	0.28	Bajo
Nitrogeno total (%)	0.01	Bajo
Fosforo disponible (ppm P)	8	Medio
Potasio asimilable (ppm K)	168	Medio
Textura	Fco. Arc.	Moderadamente fino
% Arena	30	-
% Limo	35	-
% Arcilla	35	-
C.I.C (meq /100g)	18.36	Alto
Ca ⁺⁺ (meq /100g)	14.16	-
Mg ⁺⁺ (meq /100g)	3.60	-
K ⁺ (meq /100g)	0.43	-
Na ⁺ (meq /100g)	0.17	-
PSI (%)	0.93	Bajo


Ing. José Rodrigo Argüello
CIP 35894

B. Análisis de Agua



Universidad Nacional de Piura

CENTRO PRODUCTIVO DE BIENES Y SERVICIOS
DEPARTAMENTO - ACADEMICO DE INGENIERIA



INFORME DE ANALISIS N°264- CP-D.A.I.Q.-UNP

MUESTRA : AGUA DE CANAL

PROCEDENCIA : MARCAVELICA - MALLARES

OBRA/PROYECTO : DE INVESTIGACION COMPARATIVO DE EFICIENCIA DE RIEGO PARA
BANANO Y MAIZ.

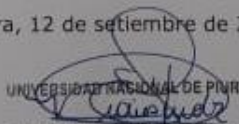
SOLICITANTE : CENTRO DE FORMACION PROFESIONAL BINACIONAL

FECHA RECEP : PIURA, 11 DE SETIEMBRE DE 2018

RESULTADOS


Determinación	
Dureza total (CaCO_3)(ppm)	110.00
Calcio (Ca^{++})(ppm)	28.00
Magnesio (Mg^{++})(ppm)	9.60
Cloruros (Cl^-)(ppm)	49.63
Sulfatos (SO_4^{--}) (ppm)	48.40
Carbonatos (CO_3^{--})(ppm)	0.00
Bicarbonatos (HCO_3^-)(ppm)	31.20
Nitritos (NO_2^-)(ppm)	0.00
Nitratos (NO_3^-)(ppm)	0.00
Sodio (Na^+)(ppm)	20.60
Potasio(K^+)(ppm)	6.51
Conductividad (mSiemens/cm)	0.33
Sólidos Totales Disueltos (ppm)	215.30
pH	7.13

Piura, 12 de setiembre de 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Ing. Hernán Oedios Fernández
PRESIDENTE
DIRECTORIO CENTRO PRODUCTIVO
DE BIENES Y SERVICIOS D.A.I.Q.



Anexo 2. Coeficiente de Uniformidad, datos de campo

A. C.U. Sistema de Riego por Goteo

1°ENSAYO		LINEA 1	LINEA 10	LINEA 20	LINEA 30
EMISOR	Tiempo (min)	4	4	4	4
INICIAL	Volumen (ml)	93	94	95	93
EMISOR A	Tiempo (min)	4	4	4	4
1/4	Volumen (ml)	89	91	91	91
EMISOR A	Tiempo (min)	4	4	4	4
3/4	Volumen (ml)	88	88	89	87
ÚLTIMO	Tiempo (min)	4	4	4	4
EMISOR	Volumen (ml)	81	83	86	84

Elaboración propia.

2°ENSAYO		LINEA 1	LINEA 10	LINEA 20	LINEA 30
EMISOR	Tiempo (min)	4	4	4	4
INICIAL	Volumen (ml)	91	94	94	92
EMISOR A	Tiempo (min)	4	4	4	4
1/4	Volumen (ml)	88	87	89	88
EMISOR A	Tiempo (min)	4	4	4	4
3/4	Volumen (ml)	87	86	86	88
ÚLTIMO	Tiempo (min)	4	4	4	4
EMISOR	Volumen (ml)	80	85	84	82

Elaboración propia.

3°ENSAYO		LINEA 1	LINEA 10	LINEA 20	LINEA 30
EMISOR	Tiempo (min)	4	4	4	4
INICIAL	Volumen (ml)	91	94	94	93
EMISOR A	Tiempo (min)	4	4	4	4
1/4	Volumen (ml)	88	87	89	86
EMISOR A	Tiempo (min)	4	4	4	4
3/4	Volumen (ml)	86	86	87	85
ÚLTIMO	Tiempo (min)	4	4	4	4
EMISOR	Volumen (ml)	83	82	85	84

Elaboración propia.

B. C.U. Sistema de Riego por Microaspersión

1°ENSAYO		LINEA 1	LINEA 2	LINEA 3	LINEA 4
INICIO	Tiempo (min)	20	20	20	20
	Volumen (ml)	2.9	2.9	2.9	2.9
A 1/4	Tiempo (min)	20	20	20	20
	Volumen (ml)	2.75	2.8	2.8	2.7
A 3/4	Tiempo (min)	20	20	20	20
	Volumen (ml)	2.5	2.55	2.6	2.4
FINAL	Tiempo (min)	20	20	20	20
	Volumen (ml)	2.3	2.45	2.5	2.3

Elaboración propia.

2°ENSAYO		LINEA 1	LINEA 2	LINEA 3	LINEA 4
INICIO	Tiempo (min)	20	20	20	20
	Volumen (ml)	2.8	2.85	2.9	2.8
A 1/4	Tiempo (min)	20	20	20	20
	Volumen (ml)	2.7	2.7	2.75	2.65
A 3/4	Tiempo (min)	20	20	20	20
	Volumen (ml)	2.6	2.6	2.65	2.55
FINAL	Tiempo (min)	20	20	20	20
	Volumen (ml)	2.3	2.35	2.45	2.25

Elaboración propia.

3°ENSAYO		LINEA 1	LINEA 2	LINEA 3	LINEA 4
INICIO	Tiempo (min)	20	20	20	20
	Volumen (ml)	2.75	2.8	2.85	2.75
A 1/4	Tiempo (min)	20	20	20	20
	Volumen (ml)	2.65	2.75	2.65	2.6
A 3/4	Tiempo (min)	20	20	20	20
	Volumen (ml)	2.5	2.55	2.65	2.45
FINAL	Tiempo (min)	20	20	20	20
	Volumen (ml)	2.3	2.35	2.4	2.25

Elaboración propia.

Anexo 3. Ensayo gravimétrico de humedad del suelo

Peso Húmedo (gr)	Peso Seco (gr)
162.30	116.93
179.90	129.76
164.40	118.95
161.50	117.13
168.10	122.33
167.10	121.96
162.60	118.89
157.60	115.79
162.90	120.18
165.50	122.90
170.40	127.09
167.30	125.82
160.90	121.89
173.70	132.68
165.10	127.10
162.80	127.34
161.00	128.25

Elaboración propia.

Anexo 4. Datos de Estación Meteorológica Portátil (Octubre 2018-Marzo 2019)

Octubre Día	T° MÁX (°C)	T° MIN (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad Viento (km/día)	Horas de sol (ho)	PP (mm)
1	-	-	-	-	-	-
2	29.1	17.4	78	135	6.0	0
3	29.2	28.5	77	152	8.0	0
4	26.6	17.7	79	59	2.5	0
5	28.7	17.6	77	115	7.0	0
6	28.4	17.8	76	99	7.5	0
7	29.7	18.8	71	67	7.5	0
8	32.8	18.7	70	92	7.0	0
9	28.4	16.5	76	38	4.5	0
10	27.3	16.7	77	121	8.0	0
11	28.3	18.2	76	100	5.5	0
12	24.7	16.7	79	27	1.0	0
13	28.7	17.2	75	56	6.0	0
14	29.7	17.9	75	90	5.0	0
15	29.7	18.7	74	72	5.5	0
16	30.6	17.9	73	84	7.0	0
17	29.4	18.3	75	90	5.5	0
18	29.9	18.0	77	105	6.0	0
19	29.8	18.7	73	70	6.0	0
20	31.5	18.1	71	67	5.5	0
21	31.2	17.2	72	73	7.0	0
22	30.7	16.6	74	86	7.5	0
23	30.5	17.2	73	81	6.5	0
24	30.6	18.8	72	74	7.0	0
25	28.6	17.3	74	52	4.5	0
26	29.9	17.3	72	72	7.0	0
27	32.4	18.5	72	110	5.0	0
28	30.8	18.1	71	107	8.0	0
29	28.9	18.1	75	122	7.5	0
30	32.4	18.5	72	110	8.0	0
31	31.3	18.2	70	68	5.5	0

Elaboración propia.

Noviembre Día	T° MÁX (°C)	T° MIN (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad Viento (km/día)	Horas de sol (ho)	PP (mm)
1	30.3	18.5	75	138	7	0
2	31.3	18.8	76	120	6	0
3	30.1	18.7	73	94	7.5	0
4	32.4	18.7	75	98	7	0
5	28.7	17.6	77	118	6.5	0
6	31.6	18.8	72	69	7	0
7	30.3	18.3	74	75.6	6.5	0
8	30.4	18.9	75	115	6.5	0
9	29.1	19.4	75	103	5	0
10	30.1	19.7	74	111	7.5	0
11	29.9	19.2	73	61	5	0
12	32.8	19.6	69	76	8	0
13	30.8	19.8	72	75	6.5	0
14	32.3	20	72	92	7	0
15	30.9	19.2	72	77	5.5	0
16	32.2	19.4	72	70	7	0
17	31.8	19.2	71	80	7.5	0
18	31.2	18.8	70	73	7.5	0
19	31.7	19.4	70	46	6	0
20	29.3	20.1	72	71	7	0
21	31.9	20.2	71	81	7.5	0
22	30.3	20.2	72	105	6.5	0
23	31.1	20.4	72	97	6	0
24	29.9	20.1	72	73	5.5	0
25	29.9	20.1	73	71	5	0
26	26.9	19.9	77	48	3.5	0
27	31.6	20.1	74	86	6.5	0
28	29.7	19.1	74	66	6	0
29	29.6	18.3	76	58	3	0
30	29.4	18.9	72	62	6	0

Elaboración propia.

Diciembre Día	T° MÁX (°C)	T° MIN (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad Viento (km/día)	Horas de sol (ho)	PP (mm)
1	32.2	19.6	70	80	6.5	0
2	28.1	18.4	75	46	4.5	0
3	29.7	18.2	76	57	4.5	0
4	29.8	18.1	72	70	5	0
5	32.6	15.7	69	101	7.5	0
6	33.2	16.9	69	75	7.5	0
7	32.4	18.6	73	102	7	0
8	32.3	19.1	75	138	8	0
9	32.3	19.3	71	100	7.5	0
10	33.2	19.4	66	75	6	0
11	33.1	20	68	53	7	0
12	31.9	20.6	71	127	8	0
13	32	21.3	72	85	4	0
14	32.4	21.6	65	65	5.5	0
15	34.2	20.7	66	76	7	0
16	34	21.2	70	75	6	0
17	33.4	21.5	72	142	7.5	0
18	30.9	21.4	70	61	5.5	0
19	31.7	20.6	75	47	5.5	0.5
20	31.9	20.8	72	70	5.5	0
21	32.3	21.2	77	71	4.5	0
22	31.4	21.3	76	54	4.5	4.55
23	30.4	21.4	75	48	3	0.25
24	31.4	21.2	73	55	3	0
25	34	21.3	69	85	6	0
26	32.8	21.8	68	67	4.5	0
27	33.3	22	67	76	6	0
28	33.8	22.3	71	109	5.5	0
29	33.4	21.4	68	90	5.5	0
30	34	21.6	66	85	7	0
31	34.7	21.8	67	114	8	0

Elaboración propia.

Enero Día	T° MÁX (°C)	T° MIN (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad Viento (km/día)	Horas de sol (ho)	PP (mm)
1	33.8	21.2	66	90	6	0
2	33.1	21.5	68	87	6.5	0
3	33.9	22.1	69	111	6	0
4	35.9	20.8	65	120	6.5	0
5	34.1	21.1	69	121	6	0
6	32.5	23.8	68	69	5	0
7	33.3	23.9	69	110	5.5	0
8	33.1	23.9	71	91	6	0
9	33.4	23.8	71	101	5	0
10	31.9	23.9	72	92	3	0
11	33	23.8	63	84	5	0
12	33.9	22.7	65	96	6.5	0
13	35.3	22.7	65	89	7.5	0
14	28.7	22.7	75	20	1.5	0.25
15	32.4	22.8	66	61	3.5	0
16	34.6	21.9	65	76	5.5	0
17	33.9	21.8	64	80	6	0
18	32.8	22.1	62	76	4.5	0
19	35.2	22.4	65	129	6.5	0
20	32.1	22.4	64	94	4	0
21	34	23.8	61	111	6.5	0
22	33.2	24.2	60	71	4	0
23	36.3	22.3	62	95	6.5	0
24	34.4	22.1	66	80	5.5	0
25	35.8	22.1	60	100	6.5	0
26	35.1	24.3	63	114	5	0
27	36.4	24.3	64	118	7.5	0
28	31.3	25.3	67	38	3	0
29	34.9	25.2	64	76	4.5	0
30	35.2	24.9	65	104	5	0
31	32	23.2	75	46	3.5	1.52

Elaboración propia.

Febrero Día	T° MÁX (°C)	T° MIN (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad Viento (km/día)	Horas de sol (ho)	PP (mm)
1	34.1	23.4	73	80	4.5	0
2	33.3	23.8	78	82	3.5	0.25
3	32.6	24.1	72	83	4.5	0
4	33.1	23.8	76	72	3	0.25
5	34.2	24.1	67	94	5.5	0
6	32.7	23.8	72	71	3	0
7	31.5	22.9	78	84	2.5	2.8
8	31.9	22.2	84	56	6	7.35
9	32.2	22.5	82	66	5	1.01
10	31.4	23.3	72	32	2.5	0
11	33.2	23.3	71	44	5	0
12	33.7	23.9	70	40	5.5	0
13	36.6	24.1	68	76	6	0
14	31.4	23.3	83	32	2	5.33
15	33.6	23.4	80	34	4	0
16	35.6	24.3	72	96	7.5	0
17	36.2	23.4	69	82	5.5	0.75
18	31.4	22.9	85	29	3	6.59
19	33.4	23	85	10	4.5	3.02
20	35.4	23.2	76	61	6.5	2.04
21	35.6	23.3	71	45	7	0
22	35.8	23.7	68	57	7.5	0
23	33.8	23.5	75	52	4.5	0
24	33.6	23.2	77	69	5.5	0.5
25	35.8	23.2	79	37	5.5	5.09
26	35.1	23.6	75	79	6.5	0
27	35.4	22.8	73	81	6.5	0
28	33.6	22.9	73	65	5.5	0
Marzo Día	T° MÁX (°C)	T° MIN (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad Viento (km/día)	Horas de sol (ho)	PP (mm)
1	36.2	22.6	74	73	5.5	4.81
2	35.3	22.8	76	63	8	0
3	35.4	22.4	72	59	7.5	0
4	35.3	24.6	70	78	7	0
5	35.5	24.2	69	62	5	0.25
6	34.7	22.2	74	68	6	1.25
7	34.9	22.7	73	56	6.5	0
8	35.6	22.6	70	77	7	0
9	35.9	22.7	72	69	6.5	0
10	35.1	23.6	72	75	7	0
11	37.2	24	67	73	7	0
12	36.1	23.1	71	83	7	5

Elaboración propia.

Anexo 5. Cálculo de láminas de riego por tratamiento

A. Tratamientos S1M1 en Banano

MES	Día	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Lr (mm)
SEPTIEMBRE	18	4.93	1.1	5.42	40	13.56
	19	4.93	1.1	5.42	40	13.56
	20	4.93	1.1	5.42	40	13.56
	21	4.93	1.1	5.42	40	13.56
	22	4.93	1.1	5.42	40	13.56
	23	4.93	1.1	5.42	40	13.56
	24	4.93	1.1	5.42	40	13.56
	25	4.93	1.1	5.42	40	13.56
	26	4.93	1.1	5.42	40	13.56
	27	4.93	1.1	5.42	40	13.56
	28	4.93	1.1	5.42	40	13.56
	29	4.93	1.1	5.42	40	13.56
	30	4.93	1.1	5.42	40	13.56
MES	Día	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Lr (mm)
OCTUBRE	1	4.93	1.1	5.42	40	13.56
	2	5.24	1.1	5.76	40	14.41
	3	6.06	1.1	6.67	40	16.67
	4	5.02	1.1	5.52	40	13.81
	5	5.31	1.1	5.84	40	14.60
	6	5.27	1.1	5.80	40	14.49
	7	5.39	1.1	5.93	40	14.82
	8	5.79	1.1	6.37	40	15.92
	9	5.10	1.1	5.61	40	14.03
	10	5.15	1.1	5.67	40	14.16
	11	5.29	1.1	5.82	40	14.55
	12	4.82	1.1	5.30	40	13.26
	13	5.20	1.1	5.72	40	14.30
	14	5.41	1.1	5.95	40	14.88
	15	5.41	1.1	5.95	40	14.88
	16	5.50	1.1	6.05	40	15.13
	17	5.40	1.1	5.94	40	14.85
	18	5.45	1.1	6.00	40	14.99
	19	5.41	1.1	5.95	40	14.88
	20	5.53	1.1	6.08	40	15.21
	21	5.49	1.1	6.04	40	15.10
	22	5.45	1.1	6.00	40	14.99
	23	5.33	1.1	5.86	40	14.66
	24	5.62	1.1	6.18	40	15.46
	25	5.18	1.1	5.70	40	14.25
	26	5.36	1.1	5.90	40	14.74
	27	5.25	1.1	5.78	40	14.44
	28	5.61	1.1	6.17	40	15.43
	29	5.40	1.1	5.94	40	14.85
	30	5.80	1.1	6.38	40	15.95
	31	5.51	1.1	6.06	40	15.15

Elaboración propia.

MES	Día	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Lr (mm)
NOVIEMBRE	1	5.60	1.1	6.16	40	15.40
	2	5.66	1.1	6.23	40	15.57
	3	5.26	1.1	5.79	40	14.47
	4	5.72	1.1	6.29	40	15.73
	5	5.30	1.1	5.83	40	14.58
	6	5.43	1.1	5.97	40	14.93
	7	5.42	1.1	5.96	40	14.91
	8	5.55	1.1	6.11	40	15.26
	9	5.36	1.1	5.90	40	14.74
	10	5.71	1.1	6.28	40	15.70
	11	5.52	1.1	6.07	40	15.18
	12	5.73	1.1	6.30	40	15.76
	13	5.50	1.1	6.05	40	15.13
	14	5.60	1.1	6.16	40	15.40
	15	5.59	1.1	6.15	40	15.37
	16	5.49	1.1	6.04	40	15.10
	17	5.59	1.1	6.15	40	15.37
	18	5.49	1.1	6.04	40	15.10
	19	5.44	1.1	5.98	40	14.96
	20	5.36	1.1	5.90	40	14.74
	21	5.64	1.1	6.20	40	15.51
	22	5.56	1.1	6.12	40	15.29
	23	5.61	1.1	6.17	40	15.43
	24	5.40	1.1	5.94	40	14.85
	25	5.39	1.1	5.93	40	14.82
	26	5.07	1.1	5.58	40	13.94
	27	5.47	1.1	6.02	40	15.04
	28	5.30	1.1	5.83	40	14.58
	29	5.23	1.1	5.75	40	14.38
	30	5.25	1.1	5.78	40	14.44

Elaboración propia.

MES	Día	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Lr (mm)
DICIEMBRE	1	4.21	1.1	4.63	40	11.58
	2	3.26	1.1	3.59	40	8.97
	3	3.37	1.1	3.71	40	9.27
	4	3.59	1.1	3.95	40	9.87
	5	4.52	1.1	4.97	40	12.43
	6	4.42	1.1	4.86	40	12.16
	7	4.38	1.1	4.82	40	12.05
	8	4.73	1.1	5.20	40	13.01
	9	4.52	1.1	4.97	40	12.43
	10	4.15	1.1	4.57	40	11.41
	11	4.23	1.1	4.65	40	11.63
	12	4.77	1.1	5.25	40	13.12
	13	3.63	1.1	3.99	40	9.98
	14	3.97	1.1	4.37	40	10.92
	15	4.5	1.1	4.95	40	12.38
	16	4.21	1.1	4.63	40	11.58
	17	4.86	1.1	5.35	40	13.37
	18	3.81	1.1	4.19	40	10.48
	19	3.73	1.1	4.10	40	10.26
	20	3.89	1.1	4.28	40	10.70
	21	3.63	1.1	3.99	40	9.98
	22	3.51	1.1	3.86	40	9.65
	23	3.08	1.1	3.39	40	8.47
	24	3.18	1.1	3.50	40	8.75
	25	4.29	1.1	4.72	40	11.80
	26	3.75	1.1	4.13	40	10.31
	27	4.22	1.1	4.64	40	11.61
	28	4.29	1.1	4.72	40	11.80
	29	4.18	1.1	4.60	40	11.50
	30	4.58	1.1	5.04	40	12.60
	31	5.07	1.1	5.58	40	13.94

Elaboración propia.

MES	Día	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Lr (mm)
ENERO	1	4.36	1.1	4.80	40	11.99
	2	4.39	1.1	4.83	40	12.07
	3	4.48	1.1	4.93	40	12.32
	4	4.88	1.1	5.37	40	13.42
	5	4.54	1.1	4.99	40	12.49
	6	3.94	1.1	4.33	40	10.84
	7	4.36	1.1	4.80	40	11.99
	8	4.33	1.1	4.76	40	11.91
	9	4.15	1.1	4.57	40	11.41
	10	3.49	1.1	3.84	40	9.60
	11	4.15	1.1	4.57	40	11.41
	12	4.60	1.1	5.06	40	12.65
	13	4.91	1.1	5.40	40	13.50
	14	2.56	1.1	2.82	40	7.04
	15	3.52	1.1	3.87	40	9.68
	16	4.25	1.1	4.68	40	11.69
	17	4.37	1.1	4.81	40	12.02
	18	3.94	1.1	4.33	40	10.84
	19	4.96	1.1	5.46	40	13.64
	20	3.90	1.1	4.29	40	10.73
	21	4.85	1.1	5.34	40	13.34
	22	3.88	1.1	4.27	40	10.67
	23	4.85	1.1	5.34	40	13.34
	24	4.28	1.1	4.71	40	11.77
	25	4.88	1.1	5.37	40	13.42
	26	4.58	1.1	5.04	40	12.60
	27	5.33	1.1	5.86	40	14.66
	28	3.56	1.1	3.92	40	9.79
	29	4.14	1.1	4.55	40	11.39
	30	4.49	1.1	4.94	40	12.35
	31	3.38	1.1	3.72	40	9.30

Elaboración propia.

MES	Día	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Lr (mm)
FEBRERO	1	3.96	1.1	4.36	40	10.89
	2	3.59	1.1	3.95	40	9.87
	3	3.93	1.1	4.32	40	10.81
	4	3.45	1.1	3.80	40	9.49
	5	4.44	1.1	4.88	40	12.21
	6	3.47	1.1	3.82	40	9.54
	7	3.23	1.1	3.55	40	8.88
	8	4.02	1.1	4.42	40	11.06
	9	3.81	1.1	4.19	40	10.48
	10	3.04	1.1	3.34	40	8.36
	11	3.87	1.1	4.26	40	10.64
	12	4.03	1.1	4.43	40	11.08
	13	4.62	1.1	5.08	40	12.71
	14	2.86	1.1	3.15	40	7.87
	15	3.55	1.1	3.91	40	9.76
	16	5.05	1.1	5.56	40	13.89
	17	4.47	1.1	4.92	40	12.29
	18	3.13	1.1	3.44	40	8.61
	19	3.61	1.1	3.97	40	9.93
	20	4.50	1.1	4.95	40	12.38
	21	4.59	1.1	5.05	40	12.62
	22	4.84	1.1	5.32	40	13.31
	23	3.81	1.1	4.19	40	10.48
	24	4.13	1.1	4.54	40	11.36
	25	4.12	1.1	4.53	40	11.33
	26	4.59	1.1	5.05	40	12.62
	27	4.62	1.1	5.08	40	12.71
	28	4.13	1.1	4.54	40	11.36
MES	Día	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Lr (mm)
MARZO	1	4.34	1.1	4.77	40	11.94
	2	4.91	1.1	5.40	40	13.50
	3	4.76	1.1	5.24	40	13.09
	4	4.81	1.1	5.29	40	13.23

Elaboración propia.

B. Tratamiento S1M2 en banano

MES	Día	(cbar)	CC (%)	PMP ó CR (%)	La (mm)	Efic. (%)	Precip. (mm)	Lr (mm)
SETIEMBRE	20	177	35.084	25.2938	39.65031	40	0	100.000
OCTUBRE	9	169	35.084	25.604	38.393	40	0	95.983
NOVIEMBRE	3	183	35.084	25.078	40.525	40	0	101.313
	15	117	35.084	28.246	27.695	40	0	69.237
DICIEMBRE	3	177	35.084	25.294	39.650	40	0	99.126
	19	130	36.569	27.484	36.794	40	0.5	91.986
ENERO	15	173	35.084	25.4458	39.035	40	0	97.587
FEBRERO	7	158	35.084	26.0728	36.49536	40	2.8	91.238
MARZO	3	176	35.084	25.331	39.499	40	0	98.747

Elaboración propia.

C. Tratamiento S2M1 en banano

MES	Día	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Precip.	Lr (mm)
SETIEMBRE	18	4.93	1.1	5.42	85	0	6.38
	19	4.93	1.1	5.42	85	0	6.38
	20	4.93	1.1	5.42	85	0	6.38
	21	4.93	1.1	5.42	85	0	6.38
	22	4.93	1.1	5.42	85	0	6.38
	23	4.93	1.1	5.42	85	0	6.38
	24	4.93	1.1	5.42	85	0	6.38
	25	4.93	1.1	5.42	85	0	6.38
	26	4.93	1.1	5.42	85	0	6.38
	27	4.93	1.1	5.42	85	0	6.38
	28	4.93	1.1	5.42	85	0	6.38
	29	4.93	1.1	5.42	85	0	6.38
	30	4.93	1.1	5.42	85	0	6.38
	Acumulado						82.94
MES	Día	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Precip.	Lr (mm)
OCTUBRE	1	4.93	1.1	5.42	87.08	0	6.23
	2	3.94	1.1	4.33	87.08	0	4.98
	3	4.91	1.1	5.40	87.08	0	6.20
	4	2.77	1.1	3.05	87.08	0	3.50
	5	4.10	1.1	4.51	87.08	0	5.18
	6	4.17	1.1	4.59	87.08	0	5.27
	7	4.23	1.1	4.65	87.08	0	5.34
	8	4.49	1.1	4.94	87.08	0	5.67
	9	3.24	1.1	3.56	87.08	0	4.09
	10	4.20	1.1	4.62	87.08	0	5.31
	11	3.74	1.1	4.11	87.08	0	4.72
	12	2.25	1.1	2.48	87.08	0	2.84
	13	3.71	1.1	4.08	87.08	0	4.69
	14	3.70	1.1	4.07	87.08	0	4.67
	15	3.77	1.1	4.15	87.08	0	4.76
	16	4.22	1.1	4.64	87.08	0	5.33
	17	3.80	1.1	4.18	87.08	0	4.80
	18	3.97	1.1	4.37	87.08	0	5.01
	19	3.89	1.1	4.28	87.08	0	4.91
	20	3.88	1.1	4.27	87.08	0	4.90
	21	4.21	1.1	4.63	87.08	0	5.32
	22	4.31	1.1	4.74	87.08	0	5.44
	23	4.07	1.1	4.48	87.08	0	5.14
	24	4.21	1.1	4.63	87.08	0	5.32
	25	3.35	1.1	3.69	87.08	0	4.23
	26	4.11	1.1	4.52	87.08	0	5.19
	27	3.53	1.1	3.88	87.08	0	4.46
	28	4.60	1.1	5.06	87.08	0	5.81
	29	4.31	1.1	4.74	87.08	0	5.44
	30	4.75	1.1	5.23	87.08	0	6.00
	31	3.87	1.1	4.26	87.08	0	4.89
	Acumulado						155.66

Elaboración propia.

MES	Día	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Precip.	Lr (mm)
NOVIEMBRE	1	4.38	1.1	4.818	87.08	0	5.53
	2	4.15	1.1	4.565	87.08	0	5.24
	3	4.35	1.1	4.785	87.08	0	5.49
	4	4.40	1.1	4.84	87.08	0	5.56
	5	4.00	1.1	4.4	87.08	0	5.05
	6	4.24	1.1	4.664	87.08	0	5.36
	7	4.03	1.1	4.433	87.08	0	5.09
	8	4.19	1.1	4.609	87.08	0	5.29
	9	3.72	1.1	4.092	87.08	0	4.70
	10	4.41	1.1	4.851	87.08	0	5.57
	11	3.61	1.1	3.971	87.08	0	4.56
	12	4.64	1.1	5.104	87.08	0	5.86
	13	4.10	1.1	4.51	87.08	0	5.18
	14	4.42	1.1	4.862	87.08	0	5.58
	15	3.87	1.1	4.257	87.08	0	4.89
	16	4.28	1.1	4.708	87.08	0	5.41
	17	4.42	1.1	4.862	87.08	0	5.58
	18	4.33	1.1	4.763	87.08	0	5.47
	19	3.87	1.1	4.257	87.08	0	4.89
	20	4.09	1.1	4.499	87.08	0	5.17
	21	4.46	1.1	4.906	87.08	0	5.63
	22	4.20	1.1	4.62	87.08	0	5.31
	23	4.11	1.1	4.521	87.08	0	5.19
	24	3.79	1.1	4.169	87.08	0	4.79
	25	3.65	1.1	4.015	87.08	0	4.61
	26	3.01	1.1	3.311	87.08	0	3.80
	27	4.16	1.1	4.576	87.08	0	5.25
	28	3.80	1.1	4.18	87.08	0	4.80
	29	3.03	1.1	3.333	87.08	0	3.83
	30	3.78	1.1	4.158	87.08	0	4.77
Acumulado							153.47

Elaboración propia.

MES	Día	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Precip.	Lr (mm)
DICIEMBRE	1	4.21	1.1	4.631	85.56	0	5.41
	2	3.26	1.1	3.586	85.56	0	4.19
	3	3.37	1.1	3.707	85.56	0	4.33
	4	3.59	1.1	3.949	85.56	0	4.62
	5	4.52	1.1	4.972	85.56	0	5.81
	6	4.42	1.1	4.862	85.56	0	5.68
	7	4.38	1.1	4.818	85.56	0	5.63
	8	4.73	1.1	5.203	85.56	0	6.08
	9	4.52	1.1	4.972	85.56	0	5.81
	10	4.15	1.1	4.565	85.56	0	5.34
	11	4.23	1.1	4.653	85.56	0	5.44
	12	4.77	1.1	5.247	85.56	0	6.13
	13	3.63	1.1	3.993	85.56	0	4.67
	14	3.97	1.1	4.367	85.56	0	5.10
	15	4.5	1.1	4.95	85.56	0	5.79
	16	4.21	1.1	4.631	85.56	0	5.41
	17	4.86	1.1	5.346	85.56	0	6.25
	18	3.81	1.1	4.191	85.56	0	4.90
	19	3.73	1.1	4.103	85.56	0.5	4.50
	20	3.89	1.1	4.279	85.56	0	5.00
	21	3.63	1.1	3.993	85.56	0	4.67
	22	3.51	1.1	3.861	85.56	4.55	1.78
	23	3.08	1.1	3.388	85.56	0.25	3.81
	24	3.18	1.1	3.498	85.56	0	4.09
	25	4.29	1.1	4.719	85.56	0	5.52
	26	3.75	1.1	4.125	85.56	0	4.82
	27	4.22	1.1	4.642	85.56	0	5.43
	28	4.29	1.1	4.719	85.56	0	5.52
	29	4.18	1.1	4.598	85.56	0	5.37
	30	4.58	1.1	5.038	85.56	0	5.89
	31	5.07	1.1	5.577	85.56	0	6.52
Acumulado							159.49

Elaboración propia.

MES	Día	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Precip.	Lr (mm)
ENERO	1	4.36	1.1	4.796	85.56	0	5.61
	2	4.39	1.1	4.829	85.56	0	5.64
	3	4.48	1.1	4.928	85.56	0	5.76
	4	4.88	1.1	5.368	85.56	0	6.27
	5	4.54	1.1	4.994	85.56	0	5.84
	6	3.94	1.1	4.334	85.56	0	5.07
	7	4.36	1.1	4.796	85.56	0	5.61
	8	4.33	1.1	4.763	85.56	0	5.57
	9	4.15	1.1	4.565	85.56	0	5.34
	10	3.49	1.1	3.839	85.56	0	4.49
	11	4.15	1.1	4.565	85.56	0	5.34
	12	4.60	1.1	5.06	85.56	0	5.91
	13	4.91	1.1	5.401	85.56	0	6.31
	14	2.56	1.1	2.816	85.56	0.25	3.14
	15	3.52	1.1	3.872	85.56	0	4.53
	16	4.25	1.1	4.675	85.56	0	5.46
	17	4.37	1.1	4.807	85.56	0	5.62
	18	3.94	1.1	4.334	85.56	0	5.07
	19	4.96	1.1	5.456	85.56	0	6.38
	20	3.90	1.1	4.29	85.56	0	5.01
	21	4.85	1.1	5.335	85.56	0	6.24
	22	3.88	1.1	4.268	85.56	0	4.99
	23	4.85	1.1	5.335	85.56	0	6.24
	24	4.28	1.1	4.708	85.56	0	5.50
	25	4.88	1.1	5.368	85.56	0	6.27
	26	4.58	1.1	5.038	85.56	0	5.89
	27	5.33	1.1	5.863	85.56	0	6.85
	28	3.56	1.1	3.916	85.56	0	4.58
	29	4.14	1.1	4.554	85.56	0	5.32
	30	4.49	1.1	4.939	85.56	0	5.77
	31	3.38	1.1	3.718	85.56	1.52	3.43
Acumulado							169.03

Elaboración propia.

MES	Día	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Precip.	Lr (mm)
FEBRERO	1	3.96	1.1	4.356	86.77	0	5.02
	2	3.59	1.1	3.949	86.77	0.25	4.40
	3	3.93	1.1	4.323	86.77	0	4.98
	4	3.45	1.1	3.795	86.77	0.25	4.22
	5	4.44	1.1	4.884	86.77	0	5.63
	6	3.47	1.1	3.817	86.77	0	4.40
	7	3.23	1.1	3.553	86.77	2.8	2.41
	8	4.02	1.1	4.422	86.77	7.35	0.69
	9	3.81	1.1	4.191	86.77	1.01	4.22
	10	3.04	1.1	3.344	86.77	0	3.85
	11	3.87	1.1	4.257	86.77	0	4.91
	12	4.03	1.1	4.433	86.77	0	5.11
	13	4.62	1.1	5.082	86.77	0	5.86
	14	2.86	1.1	3.146	86.77	5.33	0.43
	15	3.55	1.1	3.905	86.77	0	4.50
	16	5.05	1.1	5.555	86.77	0	6.40
	17	4.47	1.1	4.917	86.77	0.75	5.22
	18	3.13	1.1	3.443	86.77	6.59	0.01
	19	3.61	1.1	3.971	86.77	3.02	2.76
	20	4.50	1.1	4.95	86.77	2.04	4.48
	21	4.59	1.1	5.049	86.77	0	5.82
	22	4.84	1.1	5.324	86.77	0	6.14
	23	3.81	1.1	4.191	86.77	0	4.83
	24	4.13	1.1	4.543	86.77	0.5	4.94
	25	4.12	1.1	4.532	86.77	5.09	2.17
	26	4.59	1.1	5.049	86.77	0	5.82
	27	4.62	1.1	5.082	86.77	0	5.86
	28	4.13	1.1	4.543	86.77	0	5.24
							120.31
MARZO	Acumulado						
	MES	Día	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Precip.
		1	4.34	1.1	4.774	86.77	0
		2	4.91	1.1	5.401	86.77	0
		3	4.76	1.1	5.236	86.77	0
		4	4.81	1.1	5.291	86.77	0
		5	4.16	1.1	4.576	86.77	0
		6	4.33	1.1	4.763	86.77	0
		7	4.43	1.1	4.873	86.77	0
		8	4.76	1.1	5.236	86.77	0
		9	4.58	1.1	5.038	86.77	0
		10	4.72	1.1	5.192	86.77	0
		Acumulado					
							58.06

Elaboración propia.

D. Tratamiento S2M2 en banano

MES	Día	(cbar)	CC (%)	PMP ó CR (%)	Ln (mm)	Efic. (%)	Precip. (mm)	Lr (mm)
SEPTIEMBRE	17							20
	20	63	35.084	32.134	11.948	85	0	14.057
	23	63	35.084	32.134	11.948	85	0	14.057
	26	62	35.084	32.217	11.612	85	0	13.661
	29	63	35.084	32.134	11.948	85	0	14.057
								75.8319
MES	Día	(cbar)	CC (%)	PMP ó CR (%)	Ln (mm)	Efic. (%)	Precip. (mm)	Lr (mm)
OCTUBRE	2	64	35.084	32.051	12.283	87.08	0	14.105
	5	62	35.084	32.217	11.612	87.08	0	13.335
	8	62	35.084	32.217	11.612	87.08	0	13.335
	11	63	35.084	32.134	11.948	87.08	0	13.721
	14	63	35.084	32.134	11.948	87.08	0	13.721
	17	62	35.084	32.217	11.612	87.08	0	13.335
	20	64	35.084	32.051	12.283	87.08	0	14.105
	23	63	35.084	32.134	11.948	87.08	0	13.721
	26	64	35.084	32.051	12.283	87.08	0	14.105
	29	65	35.084	31.969	12.616	87.08	0	14.488
								137.972

Elaboración propia.

MES	Día	(cbar)	CC (%)	PMP ó CR (%)	Ln (mm)	Efic. (%)	Precip. (mm)	Lr (mm)
NOVIEMBRE	2	62	35.084	32.217	11.612	87.08	0	13.335
	5	63	35.084	32.134	11.948	87.08	0	13.721
	8	64	35.084	32.051	12.283	87.08	0	14.105
	11	62	35.084	32.217	11.612	87.08	0	13.335
	14	64	35.084	32.051	12.283	87.08	0	14.105
	17	62	35.084	32.217	11.612	87.08	0	13.335
	20	63	35.084	32.134	11.948	87.08	0	13.721
	23	64	35.084	32.051	12.283	87.08	0	14.105
	26	65	35.084	31.969	12.616	87.08	0	14.488
	29	64	35.084	32.051	12.283	87.08	0	14.105
								138.356
MES	Día	(cbar)	CC (%)	PMP ó CR (%)	Ln (mm)	Efic. (%)	Precip. (mm)	Lr (mm)
DICIEMBRE	2	64	35.084	32.051	12.283	85.56	0	14.356
	5	62	35.084	32.217	11.612	85.56	0	13.572
	8	64	35.084	32.051	12.283	85.56	0	14.356
	11	63	35.084	32.134	11.948	85.56	0	13.965
	14	62	35.084	32.217	11.612	85.56	0	13.572
	17	63	35.084	32.134	11.948	85.56	0	13.965
	20	64	35.084	32.051	12.283	85.56	0	14.356
	23	63	35.084	32.134	11.948	85.56	0	13.965
	26	65	35.084	31.969	12.616	85.56	0	14.745
	29	62	35.084	32.217	11.612	85.56	0	13.572
								140.423

Elaboración propia.

MES	Día	(cbar)	CC (%)	PMP ó CR (%)	Ln (mm)	Efic. (%)	Precip. (mm)	Lr (mm)
ENERO	2	64	35.084	32.051	12.283	85.56	0	14.356
	5	63	35.084	32.134	11.948	85.56	0	13.965
	8	64	35.084	32.051	12.283	85.56	0	14.356
	11	62	35.084	32.217	11.612	85.56	0	13.572
	14	65	35.084	31.969	12.616	85.56	0	14.745
	17	64	35.084	32.051	12.283	85.56	0.25	14.206
	20	65	35.084	31.969	12.616	85.56	0	14.745
	23	62	35.084	32.217	11.612	85.56	0	13.572
	26	64	35.084	32.051	12.283	85.56	0	14.356
	29	63	35.084	32.134	11.948	85.56	0	13.965
								141.837
MES	Día	(cbar)	CC (%)	PMP ó CR (%)	Ln (mm)	Efic. (%)	Precip. (mm)	Lr (mm)
FEBRERO	1	63	35.084	32.134	11.948	86.77	0	13.770
	4	64	35.084	32.051	12.283	86.77	0.25	14.006
	7	62	35.084	32.217	11.612	86.77	2.8	11.703
	10	64	35.084	32.051	12.283	86.77	0	14.156
	13	63	35.084	32.134	11.948	86.77	0	13.770
	16	64	35.084	32.051	12.283	86.77	0	14.156
	19	64	35.084	32.051	12.283	86.77	3.02	12.344
	22	64	35.084	32.051	12.283	86.77	0	14.156
	25	64	35.084	32.051	12.283	86.77	5.09	11.102
	28	64	35.084	32.051	12.283	86.77	0	14.156
								133.316
MES	Día	(cbar)	CC (%)	PMP ó CR (%)	Ln (mm)	Efic. (%)	Precip. (mm)	Lr (mm)
MARZO	3	63	35.084	32.134	11.948	86.77	0	13.770
	6	63	35.084	32.134	11.948	86.77	1.25	13.020
	9	64	35.084	32.051	12.283	86.77	0	14.156
								40.9458

Elaboración propia.

E. Tratamiento S1M1 en maíz

MES	Día	Edad	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Lr (mm)
SETIEMBRE	18	1	4.93	0.3	1.48	40	3.70
	19	2	4.93	0.3	1.48	40	3.70
	20	3	4.93	0.3	1.48	40	3.70
	21	4	4.93	0.3	1.48	40	3.70
	22	5	4.93	0.3	1.48	40	3.70
	23	6	4.93	0.3	1.48	40	3.70
	24	7	4.93	0.3	1.48	40	3.70
	25	8	4.93	0.3	1.48	40	3.70
	26	9	4.93	0.3	1.48	40	3.70
	27	10	4.93	0.3	1.48	40	3.70
	28	11	4.93	0.3	1.48	40	3.70
	29	12	4.93	0.3	1.48	40	3.70
	30	13	4.93	0.3	1.48	40	3.70
OCTUBRE	1	14	4.93	0.3	1.48	40	3.70
	2	15	3.94	0.3	1.18	40	2.96
	3	16	4.91	0.3	1.47	40	3.68
	4	17	2.77	0.3	0.83	40	2.08
	5	18	4.10	0.3	1.23	40	3.08
	6	19	4.17	0.3	1.25	40	3.13
	7	20	4.23	0.3	1.27	40	3.17
	8	21	4.49	0.3	1.35	40	3.37
	9	22	3.24	0.3	0.97	40	2.43
	10	23	4.20	0.3	1.26	40	3.15
	11	24	3.74	0.3	1.12	40	2.81
	12	25	2.25	0.3	0.68	40	1.69
	13	1	3.71	0.32	1.20	40	2.99
	14	2	3.70	0.35	1.28	40	3.19
	15	3	3.77	0.37	1.39	40	3.46
	16	4	4.22	0.39	1.65	40	4.11
	17	5	3.80	0.41	1.57	40	3.92
	18	6	3.97	0.44	1.73	40	4.32
	19	7	3.89	0.46	1.78	40	4.45
	20	8	3.88	0.48	1.86	40	4.66
	21	9	4.21	0.50	2.12	40	5.29
	22	10	4.31	0.53	2.26	40	5.66
	23	11	4.07	0.55	2.23	40	5.57
	24	12	4.21	0.57	2.40	40	6.00
	25	13	3.35	0.59	1.98	40	4.96
	26	14	4.11	0.62	2.53	40	6.32
	27	15	3.53	0.64	2.25	40	5.63
	28	16	4.60	0.66	3.04	40	7.59
	29	17	4.31	0.68	2.94	40	7.35
	30	18	4.75	0.71	3.35	40	8.37
	31	19	3.87	0.73	2.82	40	7.04

Elaboración propia.

MES	Día	Edad	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Lr (mm)
NOVIEMBRE	1	20	4.38	0.75	3.29	40	8.21
	2	21	4.15	0.77	3.21	40	8.01
	3	22	4.35	0.80	3.46	40	8.65
	4	23	4.40	0.82	3.60	40	8.99
	5	24	4.00	0.84	3.36	40	8.40
	6	25	4.24	0.86	3.66	40	9.14
	7	26	4.03	0.89	3.57	40	8.92
	8	27	4.19	0.91	3.80	40	9.51
	9	28	3.72	0.93	3.46	40	8.65
	10	29	4.41	0.95	4.20	40	10.50
	11	30	3.61	0.98	3.52	40	8.80
	12	31	4.64	1.00	4.63	40	11.57
	13	32	4.10	1.02	4.18	40	10.46
	14	33	4.42	1.04	4.61	40	11.52
	15	34	3.87	1.07	4.12	40	10.30
	16	35	4.28	1.09	4.65	40	11.64
	17	36	4.42	1.11	4.91	40	12.27
	18	37	4.33	1.13	4.90	40	12.26
	19	38	3.87	1.16	4.47	40	11.17
	20	39	4.09	1.18	4.82	40	12.04
	21	40	4.46	1.20	5.35	40	13.38
	22	1	4.20	1.20	5.04	40	12.60
	23	2	4.11	1.20	4.93	40	12.33
	24	3	3.79	1.20	4.55	40	11.37
	25	4	3.65	1.20	4.38	40	10.95
	26	5	3.01	1.20	3.61	40	9.03
	27	6	4.16	1.20	4.99	40	12.48
	28	7	3.80	1.20	4.56	40	11.40
	29	8	3.03	1.20	3.64	40	9.09
	30	9	3.78	1.20	4.54	40	11.34

Elaboración propia.

MES	Día	Edad	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Lr (mm)
DICIEMBRE	1	10	4.21	1.20	5.05	40	12.63
	2	11	3.26	1.20	3.91	40	9.78
	3	12	3.37	1.20	4.04	40	10.11
	4	13	3.59	1.20	4.31	40	10.77
	5	14	4.52	1.20	5.42	40	13.56
	6	15	4.42	1.20	5.30	40	13.26
	7	16	4.38	1.20	5.26	40	13.14
	8	17	4.73	1.20	5.68	40	14.19
	9	18	4.52	1.20	5.42	40	13.56
	10	19	4.15	1.20	4.98	40	12.45
	11	20	4.23	1.20	5.08	40	12.69
	12	21	4.77	1.20	5.72	40	14.31
	13	22	3.63	1.20	4.36	40	10.89
	14	23	3.97	1.20	4.76	40	11.91
	15	24	4.5	1.20	5.40	40	13.50
	16	25	4.21	1.20	5.05	40	12.63
	17	26	4.86	1.20	5.83	40	14.58
	18	27	3.81	1.20	4.57	40	11.43
	19	28	3.73	1.20	4.48	40	11.19
	20	29	3.89	1.20	4.67	40	11.67
	21	30	3.63	1.20	4.36	40	10.89
	22	31	3.51	1.20	4.21	40	10.53
	23	32	3.08	1.20	3.70	40	9.24
	24	33	3.18	1.20	3.82	40	9.54
	25	34	4.29	1.20	5.15	40	12.87
	26	35	3.75	1.20	4.50	40	11.25
	27	36	4.22	1.20	5.06	40	12.66
	28	37	4.29	1.20	5.15	40	12.87
	29	38	4.18	1.20	5.02	40	12.54
	30	39	4.58	1.20	5.50	40	13.74
	31	40	5.07	1.20	6.08	40	15.21

Elaboración propia.

MES	Día	Edad	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Lr (mm)
ENERO	1	41	4.21	1.20	5.05	40	12.63
	2	42	3.26	1.20	3.91	40	9.78
	3	43	3.37	1.20	4.04	40	10.11
	4	44	3.59	1.20	4.31	40	10.77
	5	45	4.52	1.20	5.42	40	13.56
	6	1	4.42	1.17	5.18	40	12.95
	7	2	4.38	1.14	5.01	40	12.52
	8	3	4.73	1.12	5.27	40	13.19
	9	4	4.52	1.09	4.91	40	12.28
	10	5	4.15	1.06	4.39	40	10.98
	11	6	4.23	1.03	4.36	40	10.89
	12	7	4.77	1.00	4.78	40	11.95
	13	8	3.63	0.97	3.53	40	8.84
	14	9	3.97	0.95	3.75	40	9.38
	15	10	4.5	0.92	4.13	40	10.32
	16	11	4.21	0.89	3.74	40	9.35
	17	12	4.86	0.86	4.18	40	10.45
	18	13	3.81	0.83	3.17	40	7.93
	19	14	3.73	0.80	3.00	40	7.50
	20	15	3.89	0.78	3.02	40	7.54
	21	16	3.63	0.75	2.71	40	6.78

Elaboración propia.

F. Tratamiento S1M2 en maíz

MES	Día	(cbar)	CC (%)	PMP ó CR (%)	La (mm)	Eficiencia (%)	Lr (mm)
SETIEMBRE	19	-	35.08	-	-	40.00	60.00
OCTUBRE	10	124	35.08	27.83	29.39	40.00	73.48
	4	151	35.08	26.40	35.19	40.00	87.96
NOVIEMBRE	15	102	35.08	29.21	23.79	40.00	59.49
	5	119	35.08	28.12	28.19	40.00	70.47
DICIEMBRE	20	97	35.08	29.55	22.41	40.00	56.03
ENERO	5	92	35.08	29.90	20.99	40.00	52.48

Elaboración propia.

G. Tratamiento S3M1 en maíz

MES	Día	Edad	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Precip. (mm)	Lr (mm)
SEPTIEMBRE	18	1	4.93	0.3	1.48	90	0	1.64
	19	2	4.93	0.3	1.48	90	0	1.64
	20	3	4.93	0.3	1.48	90	0	1.64
	21	4	4.93	0.3	1.48	90	0	1.64
	22	5	4.93	0.3	1.48	90	0	1.64
	23	6	4.93	0.3	1.48	90	0	1.64
	24	7	4.93	0.3	1.48	90	0	1.64
	25	8	4.93	0.3	1.48	90	0	1.64
	26	9	4.93	0.3	1.48	90	0	1.64
	27	10	4.93	0.3	1.48	90	0	1.64
	28	11	4.93	0.3	1.48	90	0	1.64
	29	12	4.93	0.3	1.48	90	0	1.64
	30	13	4.93	0.3	1.48	90	0	1.64
	Acumulado							21.36
MES	Día	Edad	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Precip. (mm)	Lr (mm)
OCTUBRE	1	14	4.93	0.3	1.48	91.7	0	1.61
	2	15	3.94	0.3	1.18	91.7	0	1.29
	3	16	4.91	0.3	1.47	91.7	0	1.61
	4	17	2.77	0.3	0.83	91.7	0	0.91
	5	18	4.10	0.3	1.23	91.7	0	1.34
	6	19	4.17	0.3	1.25	91.7	0	1.36
	7	20	4.23	0.3	1.27	91.7	0	1.38
	8	21	4.49	0.3	1.35	91.7	0	1.47
	9	22	3.24	0.3	0.97	91.7	0	1.06
	10	23	4.20	0.3	1.26	91.7	0	1.37
	11	24	3.74	0.3	1.12	91.7	0	1.22
	12	25	2.25	0.3	0.68	91.7	0	0.74
	13	1	3.71	0.32	1.20	91.7	0	1.30
	14	2	3.70	0.35	1.28	91.7	0	1.39
	15	3	3.77	0.37	1.39	91.7	0	1.51
	16	4	4.22	0.39	1.65	91.7	0	1.79
	17	5	3.80	0.41	1.57	91.7	0	1.71
	18	6	3.97	0.44	1.73	91.7	0	1.88
	19	7	3.89	0.46	1.78	91.7	0	1.94
	20	8	3.88	0.48	1.86	91.7	0	2.03
	21	9	4.21	0.50	2.12	91.7	0	2.31
	22	10	4.31	0.53	2.26	91.7	0	2.47
	23	11	4.07	0.55	2.23	91.7	0	2.43
	24	12	4.21	0.57	2.40	91.7	0	2.62
	25	13	3.35	0.59	1.98	91.7	0	2.16
	26	14	4.11	0.62	2.53	91.7	0	2.76
	27	15	3.53	0.64	2.25	91.7	0	2.45
	28	16	4.60	0.66	3.04	91.7	0	3.31
	29	17	4.31	0.68	2.94	91.7	0	3.21
	30	18	4.75	0.71	3.35	91.7	0	3.65
	31	19	3.87	0.73	2.82	91.7	0	3.07
	Acumulado							59.37

Elaboración propia.

MES	Día	Edad	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Precip. (mm)	Lr (mm)
NOVIEMBRE	1	20	4.38	0.75	3.29	92.53	0	3.55
	2	21	4.15	0.77	3.21	92.53	0	3.46
	3	22	4.35	0.80	3.46	92.53	0	3.74
	4	23	4.40	0.82	3.60	92.53	0	3.89
	5	24	4.00	0.84	3.36	92.53	0	3.63
	6	25	4.24	0.86	3.66	92.53	0	3.95
	7	26	4.03	0.89	3.57	92.53	0	3.85
	8	27	4.19	0.91	3.80	92.53	0	4.11
	9	28	3.72	0.93	3.46	92.53	0	3.74
	10	29	4.41	0.95	4.20	92.53	0	4.54
	11	30	3.61	0.98	3.52	92.53	0	3.80
	12	31	4.64	1.00	4.63	92.53	0	5.00
	13	32	4.10	1.02	4.18	92.53	0	4.52
	14	33	4.42	1.04	4.61	92.53	0	4.98
	15	34	3.87	1.07	4.12	92.53	0	4.45
	16	35	4.28	1.09	4.65	92.53	0	5.03
	17	36	4.42	1.11	4.91	92.53	0	5.30
	18	37	4.33	1.13	4.90	92.53	0	5.30
	19	38	3.87	1.16	4.47	92.53	0	4.83
	20	39	4.09	1.18	4.82	92.53	0	5.20
	21	40	4.46	1.20	5.35	92.53	0	5.78
	22	1	4.20	1.20	5.04	92.53	0	5.45
	23	2	4.11	1.20	4.93	92.53	0	5.33
	24	3	3.79	1.20	4.55	92.53	0	4.92
	25	4	3.65	1.20	4.38	92.53	0	4.73
	26	5	3.01	1.20	3.61	92.53	0	3.90
	27	6	4.16	1.20	4.99	92.53	0	5.40
	28	7	3.80	1.20	4.56	92.53	0	4.93
	29	8	3.03	1.20	3.64	92.53	0	3.93
	30	9	3.78	1.20	4.54	92.53	0	4.90
	Acumulado							136.16

Elaboración propia.

MES	Día	Edad	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Precip. (mm)	Lr (mm)
DICIEMBRE	1	10	4.21	1.20	5.05	92.69	0	5.45
	2	11	3.26	1.20	3.91	92.69	0	4.22
	3	12	3.37	1.20	4.04	92.69	0	4.36
	4	13	3.59	1.20	4.31	92.69	0	4.65
	5	14	4.52	1.20	5.42	92.69	0	5.85
	6	15	4.42	1.20	5.30	92.69	0	5.72
	7	16	4.38	1.20	5.26	92.69	0	5.67
	8	17	4.73	1.20	5.68	92.69	0	6.12
	9	18	4.52	1.20	5.42	92.69	0	5.85
	10	19	4.15	1.20	4.98	92.69	0	5.37
	11	20	4.23	1.20	5.08	92.69	0	5.48
	12	21	4.77	1.20	5.72	92.69	0	6.18
	13	22	3.63	1.20	4.36	92.69	0	4.70
	14	23	3.97	1.20	4.76	92.69	0	5.14
	15	24	4.5	1.20	5.40	92.69	0	5.83
	16	25	4.21	1.20	5.05	92.69	0	5.45
	17	26	4.86	1.20	5.83	92.69	0	6.29
	18	27	3.81	1.20	4.57	92.69	0	4.93
	19	28	3.73	1.20	4.48	92.69	0.5	4.33
	20	29	3.89	1.20	4.67	92.69	0	5.04
	21	30	3.63	1.20	4.36	92.69	0	4.70
	22	31	3.51	1.20	4.21	92.69	4.55	0.00
	23	32	3.08	1.20	3.70	92.69	0.25	3.74
	24	33	3.18	1.20	3.82	92.69	0	4.12
	25	34	4.29	1.20	5.15	92.69	0	5.55
	26	35	3.75	1.20	4.50	92.69	0	4.85
	27	36	4.22	1.20	5.06	92.69	0	5.46
	28	37	4.29	1.20	5.15	92.69	0	5.55
	29	38	4.18	1.20	5.02	92.69	0	5.41
	30	39	4.58	1.20	5.50	92.69	0	5.93
	31	40	5.07	1.20	6.08	92.69	0	6.56
	Acumulado							158.52

Elaboración propia.

MES	Día	Edad	Eto	Kc	Etc	Eficiencia	Precip. (mm)	Lr (mm)
ENERO	1	41	4.21	1.20	5.05	92.69	0	5.45
	2	42	3.26	1.20	3.91	92.69	0	4.22
	3	43	3.37	1.20	4.04	92.69	0	4.36
	4	44	3.59	1.20	4.31	92.69	0	4.65
	5	45	4.52	1.20	5.42	92.69	0	5.85
	6	1	4.42	1.17	5.18	92.69	0	5.59
	7	2	4.38	1.14	5.01	92.69	0	5.40
	8	3	4.73	1.12	5.27	92.69	0	5.69
	9	4	4.52	1.09	4.91	92.69	0	5.30
	10	5	4.15	1.06	4.39	92.69	0	4.74
	11	6	4.23	1.03	4.36	92.69	0	4.70
	12	7	4.77	1.00	4.78	92.69	0	5.16
	13	8	3.63	0.97	3.53	92.69	0	3.81
	14	9	3.97	0.95	3.75	92.69	0.25	3.80
	15	10	4.5	0.92	4.13	92.69	0	4.45
	16	11	4.21	0.89	3.74	92.69	0	4.04
	17	12	4.86	0.86	4.18	92.69	0	4.51
Acumulado								81.72

Elaboración propia.

H. Tratamiento S3M2 en maíz

MES	Día	(cbar)	CC (%)	PMP ó CR (%)	La (mm)	Efic. (%)	Precip. (mm)	Lr (mm)
SEPTIEMBRE	18	-	-	-	-	90	0	10.000
	21	54	35.084	32.8952	8.86464	90	0	9.850
	24	53	35.084	32.9818	8.51391	90	0	9.460
	27	54	35.084	32.8952	8.86464	90	0	9.850
	30	55	35.084	32.809	9.21375	90	0	10.238
								49.397
MES	Día	lectura (bar)	CC (%)	PMP ó CR (%)	La (mm)	Efic. (%)	Precip. (mm)	Lr (mm)
OCTUBRE	3	54	35.084	32.8952	8.86464	91.7	0	9.667
	6	55	35.084	32.809	9.21375	91.7	0	10.048
	9	53	35.084	32.9818	8.51391	91.7	0	9.285
	12	55	35.084	32.809	9.21375	91.7	0	10.048
	15	54	35.084	32.8952	8.86464	91.7	0	9.667
	18	54	35.084	32.8952	8.86464	91.7	0	9.667
	21	53	35.084	32.9818	8.51391	91.7	0	9.285
	24	56	35.084	32.7232	9.56124	91.7	0	10.427
	27	56	35.084	32.7232	9.56124	91.7	0	10.427
	30	55	35.084	32.809	9.21375	91.7	0	10.048
								98.566

Elaboración propia.

MES	Día	lectura (bar)	CC (%)	PMP ó CR (%)	La (mm)	Efic. (%)	Precip. (mm)	Lr (mm)
NOVIEMBRE	2	55	35.084	32.809	9.21375	92.53	0	9.958
	5	55	35.084	32.809	9.21375	92.53	0	9.958
	8	56	35.084	32.7232	9.56124	92.53	0	10.333
	11	56	35.084	32.7232	9.56124	92.53	0	10.333
	14	54	35.084	32.8952	8.86464	92.53	0	9.580
	17	56	35.084	32.7232	9.56124	92.53	0	10.333
	20	54	35.084	32.8952	8.86464	92.53	0	9.580
	23	56	35.084	32.7232	9.56124	92.53	0	10.333
	26	55	35.084	32.809	9.21375	92.53	0	9.958
	29	56	35.084	32.7232	9.56124	92.53	0	10.333
100.699								
MES	Día	lectura (bar)	CC (%)	PMP ó CR (%)	La (mm)	Efic. (%)	Precip. (mm)	Lr (mm)
DICIEMBRE	2	55	35.084	32.809	9.21375	92.69	0	9.940
	5	56	35.084	32.7232	9.56124	92.69	0	10.315
	8	56	35.084	32.7232	9.56124	92.69	0	10.315
	11	56	35.084	32.7232	9.56124	92.69	0	10.315
	14	55	35.084	32.809	9.21375	92.69	0	9.940
	17	55	35.084	32.809	9.21375	92.69	0	9.940
	20	56	35.084	32.7232	9.56124	92.69	0	10.315
	23	56	35.084	32.7232	9.56124	92.69	0.25	10.165
	26	55	35.084	32.809	9.21375	92.69	0	9.940
	29	54	35.084	32.8952	8.86464	92.69	0	9.564
100.752								

Elaboración propia.

MES	Día	lectura (bar)	CC (%)	PMP ó CR (%)	La (mm)	Efic. (%)	Precip. (mm)	Lr (mm)
ENERO	2	56	35.084	32.7232	9.56124	92.69	0	10.315
	5	56	35.084	32.7232	9.56124	92.69	0	10.315
	8	55	35.084	32.809	9.21375	92.69	0	9.940
	11	55	35.084	32.809	9.21375	92.69	0	9.940
	14	55	35.084	32.809	9.21375	92.69	0.25	9.790
	17	54	35.084	32.8952	8.86464	92.69	0.25	9.414
								59.716

Elaboración propia.